

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Solární termické systémy: snižování emisí z lokálních topenišť

Solar thermal systems – reducing emissions from local heating

diplomová práce

Autor:

Bc. Karel Víta

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Karel Víta**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství
Téma: **Solární termické systémy - snižování emisí z lokálních topenišť**
Solar thermal systems - reducing emissions from local heating

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Solární termické systémy
3. Metodika sběru dat
4. Realizace a výsledky výzkumu vybraných parametrů
5. Vyhodnocení výsledků
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

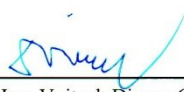
- SCHEER, Hermann. The solar economy: renewable energy for a sustainable global future. London: Earthscan, 2002. xx, 347 p. ISBN 1-85383-835-7.
- MATUŠKA, Tomáš. Solární tepelné soustavy. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. Sešit projektanta - pracovní podklady; 1. ISBN 978-80-02-02186-5.
- REMMERS, Karl-Heinz et al. Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. 315 s. Technická knihovna. ISBN 978-80-7366-110-6.
- JANČÍK, Petr, PAVLÍKOVÁ, Irena a BITTA, Jan. Analýza kvality ovzduší na území města Ostravy = Analysis of the air quality at the Ostrava city. Ochrana ovzduší, 2009, 21(4), s. 24-27. ISSN 1211-0337.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

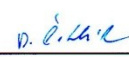
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB–TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB–TUO v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB–TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).



V Ostravě dne 20. dubna 2014

Bc. Karel Víta

Summary

This thesis aims to show the issue of reducing emissions from small heat sources – local heating from the perspective of the use of solar thermal systems for hot water or heating also supported. The introduction describes the small heat sources and their emissions. The following is a description of the solar system. The practical part describes the methodology, results and evaluation of data investigating the effect of solar systems to reduce emissions of local heating. The final summary contains a view of future application of solar systems in reducing emissions.

Keywords

Local heating, emission, air pollution, solar thermal system, hot water heating, solar panel

Anotace

Diplomová práce si klade za cíl ukázat na problematiku snižování emisí z malých zdrojů tepla – lokálních topenišť z pohledu využívání solárních termických systému pro ohřev teplé vody anebo také s podporou vytápění. V úvodu jsou popsány malé zdroje tepla a jejich emise. Následuje popis možností solárních systémů. V praktické části je popsána metodika, výsledky a hodnocení dat zkoumajících vliv solárních systémů na snížení emisí z lokálních topenišť. Závěrečné shrnutí obsahuje výhled budoucích uplatnění solárních systémů při snižování emisí.

Klíčová slova

Lokální topeniště, emise, znečištění ovzduší, solární termický systém, ohřev teplé vody, solární kolektor

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat své přítelkyni za podporu při psaní diplomové práce a také přednášejícím v oboru Environmentální inženýrství za podnětné myšlenky, které mě inspirovaly k výběru tématu mé diplomové práce.

Obsah

1	Úvod a cíl práce	1
2	Emise z lokálních topenišť	3
2.1	Legislativa v ochraně ovzduší a její vývoj	3
2.2	Vymezení pojmů	4
2.3	Současný stav ovzduší	5
2.4	Lokální topeniště a Moravskoslezský kraj	8
2.5	Zjišťování množství emisí pomocí emisních faktorů	12
2.6	Opatření k omezení emisí znečišťujících látek	13
3	Možnosti využití sluneční energie	14
3.1	Energie Slunce	14
3.2	Zjištění skutečného množství energie dopadající na osluněnou plochu	15
3.2.1	Výpočet intenzity přímého záření	17
3.2.2	Výpočet intenzity difuzního záření	18
3.2.3	Skutečné množství energie	18
3.3	Využití sluneční energie	21
3.4	Zařízení na zachycení sluneční energie a její přeměnu v teplo	22
3.4.1	Rozdělení solárních kapalinových kolektorů	23
3.4.2	Konstrukce solárního kolektoru se selektivním absorberem	24
3.4.3	Vztažná plocha solárního kolektoru	26
3.4.4	Účinnost kolektoru	27
3.4.5	Experimentální stanovení výkonu a účinnosti	29
3.4.6	Certifikace solárních kolektorů	30
4	Solární tepelné soustavy	32
4.1	Příprava teplé vody	32

4.1.1	Soustavy s přehřívacím zásobníkem	33
4.1.2	Soustavy s bivalentním zásobníkem	33
4.2	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	34
4.3	Hodnocení solárních soustav	35
4.4	Stanovení kolektorové plochy pro přípravu teplé vody	37
4.5	Prvky solární soustavy pro ohřev teplé vody	38
4.5.1	Zásobník tepla	38
4.5.2	Oběhové čerpadlo	39
4.5.3	Regulátor	39
4.5.4	Potrubí s tepelnou izolací	40
4.5.5	Expanzní nádoba	41
4.5.6	Teplonosná kapalina	42
4.5.7	Topenářské prvky	42
5	Experimentální část	44
5.1	Solární soustava pro ohřev teplé vody na rodinném domě v Jerlochovicích u Fulneku	45
5.1.1	Popisná část	45
5.1.2	Výpočtová část	47
5.1.3	Závěr	48
5.2	Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Ostravě – Hošťálkovicích	49
5.2.1	Popisná část	49
5.2.2	Výpočtová část	50
5.2.3	Závěr	51
5.3	Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Úvalnu	52
5.3.1	Popisná část	52

5.3.2	Výpočtová část.....	54
5.3.3	Závěr	54
5.4	Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Havířově	55
5.4.1	Popisná část.....	55
5.4.2	Výpočtová část.....	57
5.4.3	Závěr	58
5.5	Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Bruzovicích	59
5.5.1	Popisná část.....	59
5.5.2	Výpočtová část.....	60
5.5.3	Závěr	61
6	Vyhodnocení	62
6.1	Další možný vývoj solární tepelné techniky	63
7	Závěr	65
	Soupis literatury	66
	Legislativa a normy	68
	Internetové odkazy	68
	Seznam grafů	69
	Seznam obrázků	70
	Seznam tabulek	71

Seznam použitých zkratek

ČSU	Český statistický úřad
ČR	Česká republika
CO	Oxid uhelnatý
EPDM	Ethylen propylen dien monomer
ES	Evropské společenství
EU	Evropská Unie
GJ	10^9 joule
HC	Nespálené uhlovodíky
kW	10^3 watt
MJ	10^6 joule
MPa	10^6 Pa
MW	10^6 watt
NO _x	Oxidy dusíku
O ₃	Ozón
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
pH	Vyjádření acidity
PM ₁₀	Prašný aerosol, částice o velikosti menší než $10 \cdot 10^{-6}$ metru
PM _{2,5}	Prašný aerosol, částice o velikosti menší než $2,5 \cdot 10^{-6}$ metru
SO ₂	Oxid siřičitý
TZL	Tuhé znečišťující látky
μm	10^{-6} m
UV	Ultrafialové záření
RD	Rodinný dům

1 Úvod a cíl práce

Energie je spolu s látkou základem všech dějů ve Vesmíru.

Vznikem a především přeměnou energie je lidstvo již od počátku fascinováno. Na začátku stála touha se zahřát, pak došlo o objevení síly ohně. Po tom, co se člověk začal usazovat a byl nucen obdělávat čím dále větší plochy, naučil se využívat energie zvířat. Tam, kde byly výhodné podmínky, přinutil dále síly větru a vody, aby pro něj pracovaly v mlýnech.

Postupem času, spolu s vývojem lidské civilizace přicházely další objevy. Přišlo se na to, že jistý černý nerost hoří déle, než nerosty podobné. Objev ropy a uvolňování její energie v dopravě přinesl další ještě rychlejší rozvoj technologií. V současnosti jsou zřejmě nejvýznamnější objevy činěny v oborech jaderného štěpení a syntézy.

Vývoj jde neustále kupředu, vždy však platí, že látka a energie v procesech nezanikají, nýbrž dochází pouze k jejím přeměnám. To spolu se vzrůstajícím počtem obyvatel Země, jejich koncentrací do sídel a aglomerací, rozvojem technologií a průmyslu přináší také negativní dopady na životní prostředí i člověka samotného.

Vznikají lokální problémy typu smogových situací a zvýšené koncentrace škodlivých látek v prostředí. Z těchto negativních událostí lokálního významu vznikají působením složek životního prostředí problémy regionální i mezistátní.

V celoplanetárním měřítku pak vznikají spolupůsobením lidské činnosti a přírodních faktorů problémy globální.

S uvědoměním si svých činů a negativních důsledků se postupně lidská společnost orientuje na technologie, které svým působením nemění životní prostředí a ani do něj nevnáší škodlivé vlivy.

Jednou z těchto čistých technologií je také solární tepelná technika, která jako zdroj energie využívá naši mateřskou hvězdu Slunce.

Cílem diplomové práce je jednak popsat teoretické možnosti uplatnění solárních systémů při snižování znečištění ovzduší především z lokálních topenišť a jednak opřít

teoretická východiska o konkrétní praktické příklady instalovaných solárních systémů na rodinných domech.

Praktická část této práce zahrnuje návrhy, projekty a také konkrétní realizace vybraných solárních systémů na rodinných domech, na kterých se autor této diplomové práce podílel v rámci své praxe.

2 Emise z lokálních topenišť

2.1 Legislativa v ochraně ovzduší a její vývoj

Problematika znečišťování a ochrany ovzduší byla v České republice po roce 1992 legislativně upravena nejprve Zákonem č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší). Hlavním posláním zákona bylo implementovat předpisy a požadavky Evropského společenství v oblasti ochrany ovzduší, ochrany ozónové vrstvy Země a ochrany klimatického systému Země. Zákon byl postupně několikrát novelizován a upravoval mimo jiné oblast pohonných hmot, světelného znečištění aj. V důsledku těchto mnoha novelizací se zákon stal nepřehledným a jeho využití bylo pro orgány ochrany ovzduší obtížné. Z těchto důvodů začala práce na vydání nového zákona.

Nový zákon o ovzduší měl dostatečně upravit provázanost s ostatními předpisy o ochraně životního prostředí, s předpisy z oblasti hospodaření s energií, integrované prevence, změny klimatu a nakládání s odpady. Tvorba nového zákona začala také z důvodu stagnace vývoje emisí a z důvodu zhoršování kvality ovzduší v některých oblastech České republiky. Ukázalo se, že nástroje, které poskytoval Zákon č. 86/2002 Sb. v oblasti snižování emisí, byly nedostatečné a nevedly by k plnění nastavených cílů daných směrnicemi ES a legislativou ČR. Mezi nejdůležitější nástroje, které bylo zapotřebí zefektivnit, bylo zavedení plánu pro snižování emisí nejen u velkých spalovacích zdrojů, ale také u malých zdrojů, kde se znečišťování nedařilo snižovat. Dalším nástrojem mělo být stanovení technicko-organizačních podmínek při provozování těchto zdrojů. U velkých zdrojů emisí se hlavním nástrojem měly stát poplatky při znečišťování, které mají provozovatele stimulovat k zavádění postupů a technologií omezování emisí pod dané limitní hodnoty (Zákon č. 86/2002 Sb.).

Nový Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší nabyl účinnosti 1. 9. 2012. Mezi hlavní změny, které zákon přinesl, patří:

- implementace nových právních předpisů ES
- revize systému poplatků za znečišťování ovzduší
- zpřísnění emisních limitů a rozšíření aplikace emisních stropů

- snížení administrativní zátěže a legislativních povinností

Vedle hlavních změn, týkajících se problematiky lokálních topenišť, Zákon č. 201/2012 Sb. přinesl tyto nové prvky:

- nové rozdělení zdrojů
- zpřísnění emisních limitů, zvyšování kvality paliva
- zavedení individuálního přístupu ke zdrojům znečišťování ovzduší
- omezení typů domácích kotlů, které se mohou prodávat

2.2 Vymezení pojmů

Předtím, než si uvedeme výčet emisí znečišťujících látek z malých zdrojů, musíme si definovat jednotlivé pojmy lokální topeniště a emise a zmínit legislativu, která se jimi zabývá.

Pojmu emise je předřazen pojem znečišťující látka. V Zákoně č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší se znečišťující látkou rozumí: *„každá látka, která svou přítomností v ovzduší má nebo může mít škodlivé účinky na lidské zdraví nebo životní prostředí anebo obtěžuje zápachem“*.

Pojem emise byl uveden v dnes již neplatném Zákoně č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší. Emisí se rozumělo *„vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do ovzduší“*. V dnes platné legislativě je pojem emise nahrazen pojmem znečišťování.

V případě emisí z lokálních topenišť vzniká znečištění spalováním uhlikatých paliv v malých domácích zdrojích tepla. V Zákoně č. 201/2012 Sb. je definován spalovací stacionární zdroj jako *„stacionární zdroj, ve kterém se oxidují paliva za účelem využití uvolněného tepla“*. Právě nový zákon o ochraně ovzduší jednoznačně definuje stacionární zdroje tepla. Malé zdroje tepla spadají do kategorie zdrojů znečišťování o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW. Pokud tedy mluvíme o lokálním topeništi, myslíme tím zejména zdroje, které se nacházejí v rodinných domech, chalupách, ale také v menších školách, kancelářích nebo provozovnách (Zákon č. 201/2012 Sb.).

Při popisu znečištění z domácích zdrojů je také důležité znát, jak jsou definovány látky, které se využívají ke spalování. Zákon č. 201/2012 definuje palivem *„spalitelný materiál v pevném, kapalném nebo plynném skupenství, určený jeho výrobcem ke*

spalování za účelem uvolnění energetického obsahu tohoto materiálu“. Kvalitu paliv definuje Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Konkrétní požadavky na kvalitu paliv jsou uvedeny v části 1, přílohy č. 3 této vyhlášky. Je zajímavé sledovat vývoj hodnot u ukazatele výhřevnosti tuhých paliv. Zatímco u požadavku platného do 31. 1. 2013 byla u stacionárních zdrojů do 300 kW výhřevnost stanovena $> 12 \text{ MJ.kg}^{-1}$, u požadavku od 1. 1. 2014 je výhřevnost stanovena $> 15 \text{ MJ.kg}^{-1}$, což ukazuje na jasný posun ke zvyšování kvality paliva.

2.3 Současný stav ovzduší

Po roce 2000 a především se vstupem ČR do Evropské Unie v roce 2002 lze pozorovat, že kvalitu ovzduší ovlivňuje několik hlavních parametrů. Na jedné straně dochází ke zvyšování emisí a koncentrací znečišťujících látek, na druhé straně stojí zejména zvyšující se spotřeba obyvatel, nárůst cen energií a paliv a např. role ČR v rámci evropského a světového hospodářství¹. Ve prospěch snižování emisí hraje pozitivní roli zejména zavádění přísných požadavků ES, zavádění Národních programů snižování emisí, zvyšující se povědomí obyvatel o otázkách znečištění, zájem o zkvalitnění životního prostředí a v neposlední řadě také rozvoj nových technologií a jejich zavádění. V pozitivním i negativním směru pak působí vývoj ekonomické situace ve světě i u nás a také rostoucí nestálost klimatických jevů (Braniš, Hůnová, 2009).

V současné době lze říci, že u určitých látek, které se vyskytovaly v minulých letech v nejvyšších koncentracích, došlo k zastavení anebo jen k mírnému růstu jejich emisí. Jedná se zejména o SO_2 , NO_x , CO, které jsou v největších objemech produkovány velkými zdroji o tepelném příkonu nad 5 MW. U těchto zdrojů došlo k nákladným přestavbám technologií spalování, k instalacím účinných odlučovačů emisí a také se v nich začaly spalovat látky s nižší produkcí znečištění, jakou produkuje například biomasa. U těchto velkých zdrojů lze očekávat stagnaci anebo také mírné snižování množství produkováných emisí díky pokračujícímu zvyšování účinnosti spalování a spoluspalování, ale také díky zavádění účinnějších metod odlučování. Prvkem působícím proti tomuto

¹ ČR jako transitní země a země s přetrvávajícím těžkým průmyslem a energeticky náročnou výrobou.

trendu je uvažovaná koncepce budování spaloven komunálního odpadu. I zde je však patrný příklon k zavádění technologií snižování emisí, k zavádění například fluidního spalování.

V dopravě je situace opačná. Od roku 1992 dochází k nárůstu počtu motorových vozidel. Tento nárůst je charakteristický pro všechny vyspělé země, kdy je možné pozorovat zvyšování podílu individuální dopravy oproti ostatním druhům dopravy (Adamec, 2008). Také v přepravě nákladů a zboží hraje silniční doprava v ČR hlavní úlohu. Vzhledem k orientaci národní ekonomiky na model trvalého růstu, k němuž se váže zvýšená spotřeba obyvatel a orientace na služby, lze očekávat zvýšení produkce znečišťujících látek. Mezi faktory působícími proti zvyšování emisí lze zařadit konstrukce vozidel s nižší spotřebou paliva, přechod na alternativní paliva, mezi něž se řadí například stlačený zemní plyn. Nesmíme opomenout také využívání vozidel s alternativními pohony. Velká očekávání vzbuzují především elektrické či částečně elektrické pohony. I tady ale platí, že elektrická energie se musí někde vyrobit a to, jakým způsobem se vyrábí, má opět vliv na vznik znečišťujících látek. Nevýznamnějšími polutanty z dopravy je produkce TZL, CO, NO_x a O₃. Nelze však opomenout další “koktejl” zplodin, které jsou sice produkovány v menší míře, ale svým negativním působením ovlivňují své okolí. Jedná se například uhlovodíky HC, polycyklické aromatické uhlovodíky PAU a také aldehydy (Český hydrometeorologický ústav, Tabeleární přehled, 11.2.2014, [online]).

Podobný vývoj jako u dopravy lze pozorovat u produkce škodlivých látek u posledního ze tří hlavních zdrojů emisí – lokálních topenišť. Spalování nekvalitních paliv v malých zdrojích tepla má v ČR, především v malých městech dlouholetou tradici. V české části ČR se pro spalování využívalo hlavně hnědé uhlí, těžené v severních Čechách. Toto uhlí je charakteristické vyšším podílem síry. V moravské části pak bylo velmi oblíbené černé uhlí a koks, které se těžily v bývalém Ostravsko-karvinském uhelném revíru. Kvalita tohoto paliva byla ve srovnání s hnědým uhlím vyšší (Roubíček, 2002). Spalování tuhých paliv však s sebou vždy přináší emise látek obsažených v palivu. Vysoká produkce znečišťujících látek byla také dána používáním neefektivních spalovacích kotlů. Většinou se jednalo o kotle svařované v místě. Při výrobě těchto zdrojů se hledělo hlavně na vysoký výkon a dlouholetou životnost. Jelikož byla tato paliva také levná, nebyli obyvatelé nijak tlačeni k úsporám v podobě snižování tepelných ztrát budov nebo zvyšování účinnosti zdrojů. Dalším faktorem byla mnohde nedostatečná znalost provozu

kotlů, což vedlo k nedokonalému spalování látek. Tyto okolnosti vedly k obrovským emisím karcinogenních látek do ovzduší a spolu s příspěvkem velkých zdrojů, dopravy a také klimatických jevů zapříčinily kritickou, lidskému zdraví škodlivou situaci. Po roce 1992 se v ČR začala budovat plynofikace obcí a měst. ČR na svém území financovala vybudování infrastruktury rozvodů plynů díky tomu, že ČR funguje jako tranzitní zemí plynovodů z Ruska a Norska (Zemní plyn, 14.2.2014, [online]). Postupem času se využívání zemního plynu v domácnostech stalo velmi oblíbeným a došlo k postupnému nahrazení spalování méně ušlechtilých paliv. Spalování zemního plynu je komfortnější a také emise znečišťujících látek jsou v porovnání s tuhými palivy nižší a méně škodlivé. Tam, kde nebylo výhodné přivést rozvod zemního plynu, a tam, kde byl vybudován rozvod elektrické energie, investovali majitelé do vytápění elektrického. Jednalo se hlavně o topení elektrickými přímotopy a kotli na elektrickou energii. Na budování zdrojů vytápění a ohřevu teplé vody pomocí elektrické energie měla také vliv kampaň státu ČR před dokončením první dostavby jaderné elektrárny Temelín a s tím související proklamovaná nízká cena elektřiny. Elektrická energie je v místě svého využití bezemisní, tyto emise však vznikají ve výrobnách elektrické energie, jimiž jsou v ČR převážně hnědouhelné a jaderné elektrárny. Emise se tedy jen více koncentrovaly na jiném místě. Pokud však shrneme vývoj v 90. letech 20. století, lze říci, že do roku 2000 měly emise z malých zdrojů klesající tendenci (Machálek, 1997).

Díky razantně rostoucím cenám zemního plynu a stagnujícím anebo mírně stoupajícím cenám tuhých paliv přichází po roce 2000 renesance zdrojů na tuhá paliva. Cena zemního plynu se v období mezi léty 2000 – 2013 téměř ztrojnásobila (TZB-Info, 16.2.2014, [online]). Na trhu se postupně objevila řada nových výrobců kotlů na tuhá paliva nebo na biomasu. I cenově tak začaly kotle na tuhá paliva konkurovat plynovým spotřebičům. Také cena elektrické energie kopírovala cenu zemního plynu.

Jako další příčinu, která také ovlivnila opětovný nárůst obliby využívání tuhých paliv, lze považovat úplnou absenci legislativy nebo legislativu nedostatečně upravující spalování v malých zdrojích tepla a emise z těchto zdrojů. Vývoj legislativy regulující lokální topeniště po roce 1990 začal Zákonem č. 309/1991 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami. Tento zákon však jen odkazuje na občanský zákoník, na zákon o hospodaření s byty a vyhlášku o obecných technických požadavcích na výstavbu.

Další postup vymezení legislativy k lokálním topeništím představuje Zákon č. 86/2002 o ochraně ovzduší. Podstatně však legislativně upravoval jen fungování zdrojů o velkém výkonu, malých zdrojů se týkal jen okrajově. Nebylo jasné, jak a jakými pravomocemi uplatňovat sankce. Vymezení pravomocí při uplatňování sankcí postihujících spalování nevhodných látek však chybí dodnes. Tento dluh je neustále přenášen z jedné vlády na další. Dospěli jsme do bodu, kdy někteří provozovatelé malých zdrojů tepla spalují látky nevhodné a v některých případech také nebezpečné. Nedostatečně fungoval také monitoring emisí těchto zdrojů. Monitoring byl opět zaměřen jen na velké bodové zdroje, případně byl prováděn pouze plošný monitoring.

Nový zákon č. 201/2012 Sb. již řeší problematiku malých zdrojů podrobněji. Zákon nabyl účinnosti 1. 9. 2012.

2.4 Lokální topeniště a Moravskoslezský kraj

Moravskoslezský kraj je co do počtu obyvatel třetí největší. Celorepublikový primát však drží v oblasti znečištění ovzduší. Koncentrace benzo(a)pyrenu byly v roce 2012 překročeny oproti imisním limitům dokonce několikanásobně. Nejvyšší roční průměrná koncentrace byla v roce 2012, stejně jako v předchozích letech naměřena v Ostravě-Bartovicích/Radvanicích (Cenia, 11.2.2014, [online]).

Problémy s ovzduším v Moravskoslezském kraji vyplývají zejména z jeho geografické polohy, ale jsou podmíněny také historicky. Ostravskokarvinská aglomerace byla díky svým zásobám kvalitního černého uhlí od počátku 50. let 20. století centrem průmyslové a hutní výroby v ČR. Toto „železné srdce republiky“ produkovalo ocelové výrobky nutné pro poválečný rozvoj tehdejšího Československa. S rostoucím počtem podniků stoupal také počet obyvatel. Po roce 1990 dochází k částečné restrukturalizaci hospodářství a řada podniků je uzavřena anebo transformována. Velká část podniků však byla zachována, a tak je zde koncentrace velkých zdrojů znečišťování oproti jiným evropským regionům nadprůměrná.

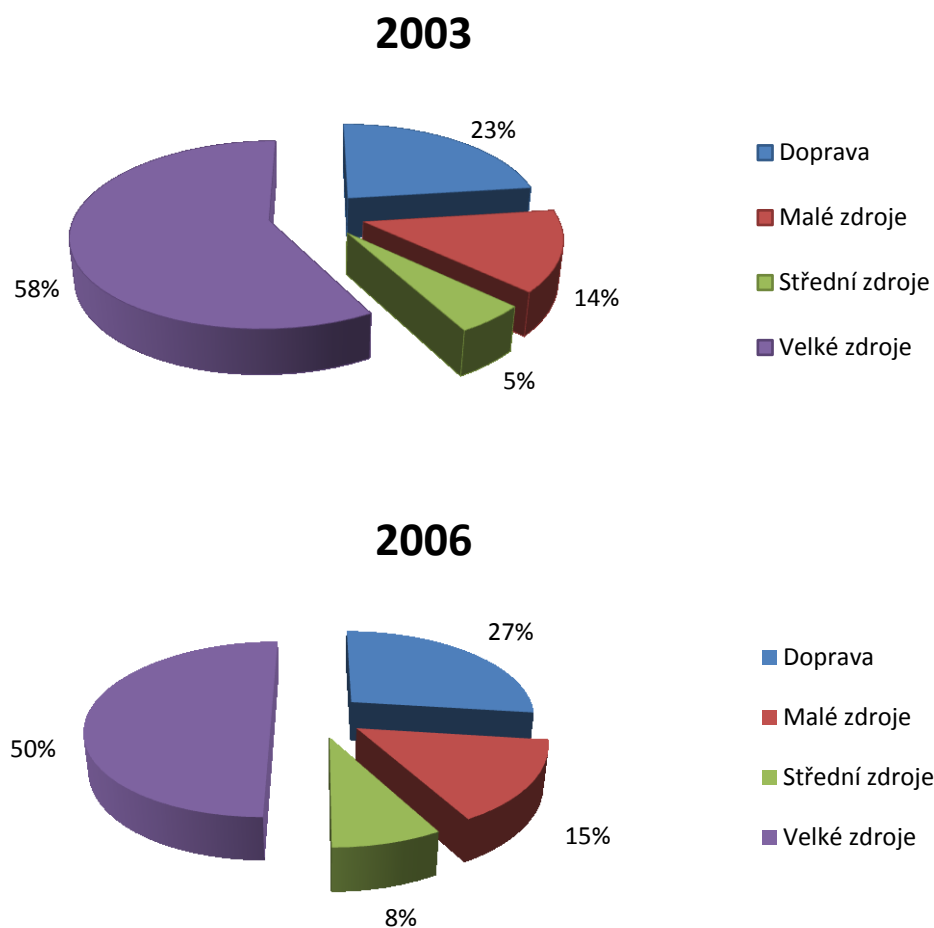
Další z příčin špatného ovzduší je geografická poloha. Na jihovýchodě a západě je kraj ohraničen horami, což brání rozptylu znečišťujících látek. Horská bariéra zapříčiňuje také vznik zimních inverzních stavů, které akcelerují následné časté smogové situace. Severní a východní strana území pak přiléhá k území Polska, kde je v oblasti Katovic také vysoká koncentrace těžkého průmyslu. Tento přeshraniční přenos znečišťujících látek

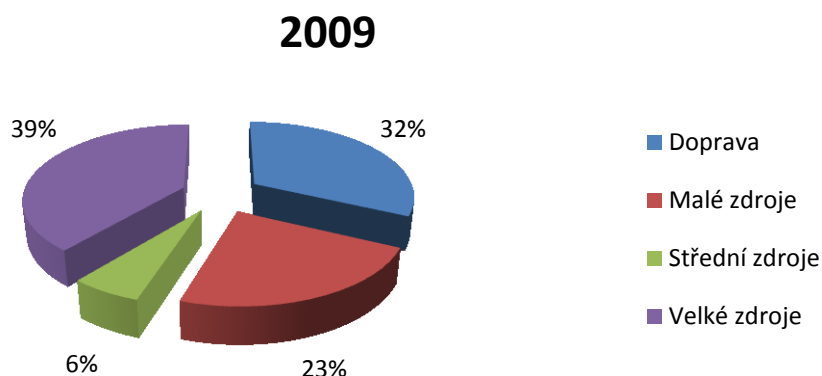
významně přispívá ke zhoršené kvalitě ovzduší (Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012, 2013).

Husté osídlení a koncentrace průmyslové výroby pak s sebou přináší další zdroje znečištění ovzduší, tedy dopravu a lokální topeniště.

Jak uvidíme z následujících grafů, emise TZL velkých průmyslových podniků se v Moravskoslezském kraji v posledních letech daří snižovat. Mezi léty 2003 až 2009 stoupá podíl dopravy a také téměř dvojnásobně stoupá podíl malých zdrojů.

Graf 1 Vývoj množství emisí z malých zdrojů mezi léty 2003 – 2009
(zdroj: „Takové to domácí topení“, Moravskoslezský kraj, Ostrava 2012)





Podle Sčítání lidí, domů a bytů z roku 2011 Českého statistického úřadu (Český statistický ústav, 14.2.2014, [online]) bylo na území Moravskoslezského kraje v provozu téměř 56 000 kotlů na tuhá paliva. V Ostravsko-Karvinské aglomeraci je navíc jedna z nejvyšších hustot lokálních topenišť v rámci celé ČR (Moravskoslezský kraj, 2012).

Ekonomický vývoj v posledních letech a rostoucí ceny zemního plynu a elektrické energie podporují majitele malých spalovacích zdrojů ke spalování nevhodných paliv nebo dokonce odpadů.

V souvislosti s tím, jak klesají emise velkých a středních zdrojů, stoupá podíl lokálních topenišť. Právě tuhé znečišťující látky - TZL, tedy pevné frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$ představují jeden z největších problémů zhoršené kvality ovzduší v Moravskoslezském kraji. Složení těchto látek představuje významné riziko pro lidské zdraví. Stavba TZL může být tvořena inertními látkami, ale také se na jejich povrchu mohou adsorbovat další látky, které představují významná rizika pro lidské zdraví.

Dle některých studií tvoří malé zdroje až 66 % emisí polycyklických aromatických uhlovodíků – PAU, zvláště pak benzo(a)pyren a 35 % podílu primárních částic PM_{10} . Výrazný je také podíl při produkci perzistentních organických polutantů – POP, konkrétně polychlorovaných dibenzo-p-dioxinů a – furanů – PCDD/F. Mezi další látky, které se mohou adsorbovat na povrch pevných frakcí, patří kondenzované páry kovů, kyseliny, dehty a také třeba polychlorované bifenylly – PCB (Horák, 2009).

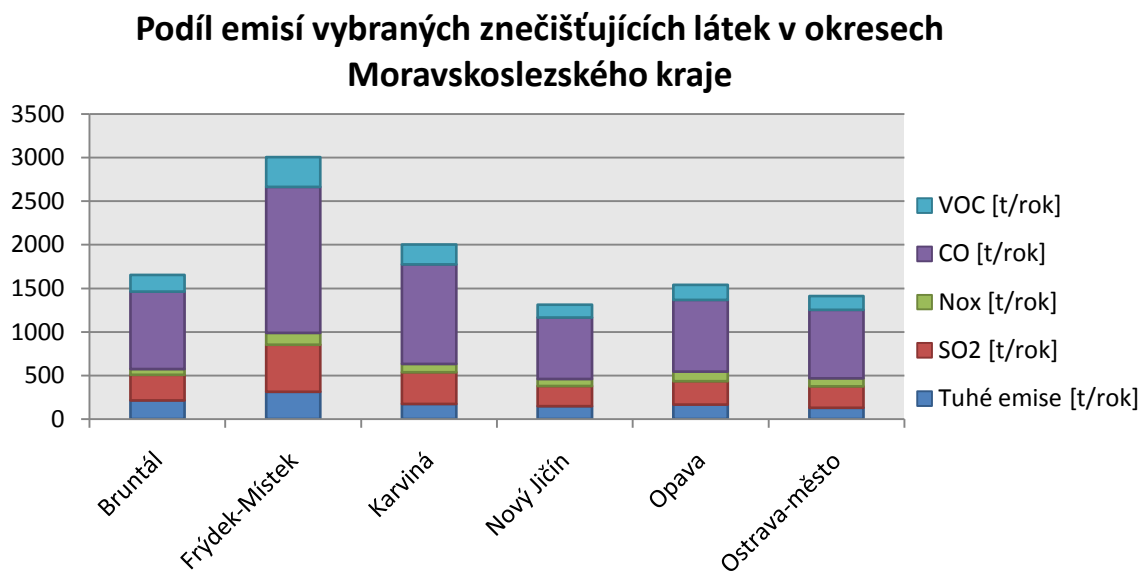
Jelikož neexistuje jednoznačné a kontinuální měření emisí ze spalování v malých zdrojích, používají se při určování druhu a množství emisí přepočty na základě

meteorologických podmínek během otopného období - a následné stanovení spotřeby paliva a emisních faktorů.

Dle písmene b) paragrafu 2 Vyhlášky 415/2012 o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší je emisní faktor „*měrná výrobní emise typická pro určitou skupinu stacionárních zdrojů*“. Měrná výrobní emise je podle této vyhlášky „*podíl hmotnosti znečišťující látky nebo stanovené skupiny látek vnášených ze stacionárního zdroje do ovzduší a vztahné veličiny*“. Emisním faktorům a výpočtům jejich pomocí bude věnována kapitola v praktické části této diplomové práce.

Na následujícím grafickém vyjádření můžeme vidět poměrné zastoupení celkových emisí vybraných znečišťujících látek tak, jak jsou měřeny a uváděny Českým hydrometeorologickým ústavem. Jedná se o emise z malých zdrojů podle okresů v Moravskoslezském kraji za rok 2011. Hodnoty jednotlivých látek jsou pro úplnost uvedeny také v tabulce pod grafem. Jsou navíc doplněny o počet obyvatel v okresech a také jsou uvedeny emise za celý Moravskoslezský kraj.

Graf 2 Emise vybraných znečišťujících látek v okresech Moravskoslezského kraje v roce 2011
(zdroj: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2011, ČHMU, Praha 2012)



Tabulka 1 Emise vybraných znečišťujících látek v okresech Moravskoslezského kraje v roce 2011
(zdroj: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2011, ČHMU, Praha 2012)

	Počet obyvatel [ks]	Tuhé emise [t/rok]	SO ₂ [t/rok]	NO _x [t/rok]	CO [t/rok]	VOC [t/rok]
Bruntál	97369	212	295	68	889	188
Frýdek-Místek	212100	312	541	135	1674	342
Karviná	270412	175	364	94	1142	228
Nový Jičín	152524	149	228	83	704	146
Opava	177236	167	265	113	822	170
Ostrava-město	333579	127	249	91	786	158
Celkem	1243220	1143	1942	585	6019	1232

2.5 Zjišťování množství emisí pomocí emisních faktorů

Na základě § 4 odst. 2 Zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, a § 3 odst. 5 Vyhlášky č. 415/2012 Sb., se namísto měření provádí zjišťování úrovně znečišťování výpočtem. Podle § 12 odst. 1 písm. b) se pak k výpočtu použijí emisní faktory obsažené ve Věstníku Ministerstva životního prostředí.

Výpočet se provádí jako součin emisního faktoru a počtu jednotek příslušné vztažné veličiny na zdroji v požadovaném časovém úseku.

Stanovení množství vypuštěné znečišťující látky E_z se provede výpočtem podle vztahu:

$$E_z = E_f \cdot M$$

E_f – emisní faktor

M – množství jednotek, na které je emisní faktor vztažen, například hmotnost spáleného paliva, hmotnost vstupní suroviny apod.

Emisní faktory vybraných látek jsou uvedeny v tabulce. Emisní faktory platí pro všechna paliva mimo černé uhlí, koks a biomasu:

Tabulka 2 Hodnoty emisních faktorů pro stanovení množství emisí výpočtem při spalování paliv
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Druh paliva	Druh topeniště	TZL	SO ₂	NO _x	CO	Jednotka
všechna paliva mimo černé uhlí, koks a biomasu	pevný rošt	1,0 x Ap	19,0 x Sp	2,0	45,0	kg/t spáleného paliva
	pásový rošt s pohazováním	5,0 x Ap	19,0 x Sp	3,0	1,0	
	pohyblivý rošt(přesuvný, vratný aj.) a kombinace rošt+olej, rošt+plyn	3,5 x Ap	19,0 x Sp	3,0	2,0	

2.6 Opatření k omezení emisí znečišťujících látek

V našich zeměpisných šířkách se bez vytápění a ohřevu teplé vody v zimním období neobejdeme, tudíž opatření, která můžeme provést pro snížení emisí, souvisí jak se zajištěním zdrojem tepla, tak se snížením spotřeby paliva.

Opatření souvisejí se zdrojem tepla:

- Investice do nového moderního automatického kotle
- Zvýšení účinnosti stávajícího kotle, pravidelné čištění a servis kotle
- Správný způsob provozování kotle
- Správné regulování otopné soustavy

Opatření mající souvislost se snížením spotřeby paliva:

- Snížení tepelné ztráty domu – zateplení, výměna oken
- Správný způsob větrání
- Používání kvalitních paliv
- Instalace obnovitelných zdrojů energie – tepelných čerpadel nebo solárních termických kolektorů

3 Možnosti využití sluneční energie

3.1 Energie Slunce

Sluneční soustava, ve které se nachází naše planeta Země má ve svém středu jedinou hvězdu a tou je naše Slunce. Skládá se ze tří čtvrtin z vodíku a z jedné čtvrtiny z helia, malou část tvoří další prvky periodické soustavy.

Právě vodík je základem vzniku sluneční energie. V jádru hvězdy za vysokých teplot a tlaků probíhá slučování jader – jaderná syntéza neboli fúze. Během reakce vzniká ze čtyř protonů vodíku jedno jádro helia. Protože je výsledný produkt jádro helia lehčí, než hmotnost reaktantů, rozdíl této hmotnosti se přemění na energii ve formě záření.

Vyzařované množství energie je tak velké, že je velmi těžké si je představit. Na hranici před vstupem do zemské atmosféry je množství energie $G_o = 1367 \text{ W.m}^{-2}$. Tato hodnota je definována jako „solární konstanta“. Pokud bychom si chtěli představit toto množství energie, které každou sekundu přichází ze Slunce na horní hranici zemské atmosféry, jednoduše si ho přiměříme pomocí příkladu ohřevu vody v rychlovarné konvici. 1 l vody bychom pomocí elektrické konvice s využitím této energie ohřáli na bod varu asi za 5 minut.

Při cestě Vesmírem ze Slunce až k počátku zemské atmosféry není sluneční záření nijak rušeno a nemění se ani jeho spektrální složení. Zářivý tok se začíná měnit až vstupem do atmosféry.

Zpočátku ve výšce nad 60 km od povrchu Země se pohlcují nejkratší vlnové délky – záření gamma, rentgenové a ultrafialové - UV záření krátkovlnné. Poté v tenké vrstvě ozónu ve výškách 20 až 30 km dochází k pohlcení zbývajících životu nebezpečných složek UV záření. V nejnižších vrstvách atmosféry pak dochází k pohlcování záření na částicích prachu, vodní páry, oxidu uhličitého a dalších částic. Při pohlcení slunečního záření dochází k emisi tepla.

Zpět do Vesmíru se odráží průměrně 34 % záření, asi 19 % pohltí atmosféra a zbývajíc část, tedy asi 47 %, dopadá na zemský povrch (Cihelka, 1994).

3.2 Zjištění skutečného množství energie dopadající na osluněnou plochu

Sluneční záření G dopadající na danou plochu na zemském povrchu se dělí na dvě složky:

- 1) Přímé záření - G_b – záření bez jakéhokoliv rozptylu
- 2) Difuzní záření - G_d – vlivem rozptylu má před dopadem změněný směr

Difuzní záření vzniká odrazem slunečního záření o molekuly plynů, o částice prachu nebo vodní páry. Mezi difuzní záření se řadí i přímé záření, odražené od okolních ploch (Brož, 2003).

Míra zmenšení intenzity slunečního záření je vyjádřena pomocí součinitele znečištění atmosféry Z , který je tabelován od hodnot $Z = 2$ až $Z = 5$. Posloupnost směřuje od velmi čisté atmosféry například v horských oblastech přes oblasti s mírným antropogenním znečištěním atmosféry až po silně znečištěné městské aglomerace. U objektivních výpočtů intenzity slunečního záření tedy vycházíme z dlouhodobých měřených dat intenzity slunečního záření z měřicí stanice, ale měli bychom také vzít v úvahu místní podmínky, například znečištění atmosféry dané lokální situace.

Snížení intenzity slunečního záření dále závisí na tloušťce vrstvy vzduchu, kterou paprsky pronikají.

V tabulce 3 jsou uvedeny orientační hodnoty intenzity dopadajícího přímého a difuzního záření a jejich poměrů v České republice při odlišných typech meteorologických stavů.

Tabulka 3 Hodnoty celkového záření a poměr difuzního záření k celkovému záření
(zdroj: Matuška, T., Solární tepelné soustavy, Praha 2009)

	$G = G_b + G_d$	Poměr G_d/G
Jasná obloha	800 - 1000 W.m ⁻²	10 - 20 %
Lehce zataženo	400 - 700 W.m ⁻²	podle oblačnosti
Silně zataženo	100 - 300 W.m ⁻²	100%

Směr dopadajících slunečních paprsků je dán polohou Slunce nad obzorem a osluněné plochy, například slunečního kolektoru. Tato plocha je zpravidla neměnná. V závislosti s časem se však mění poloha Slunce. Pro každý okamžik jsme schopni určit

výšku h Slunce nad obzorem a azimut Slunce a . Pro tento výpočet musíme znát následující parametry:

- 1) δ – sluneční deklinace, zeměpisná šířka, kde v daný den ve 12 h je slunce kolmo nad obzorem
- 2) φ – zeměpisná šířka
- 3) τ – časový úhel v obloukových stupních, měřený od 12 h v poledne, jedné hodině odpovídá úhel 15° , pro hodiny po 12 h měříme úhly jako kladné hodnoty, pro hodiny před 12 h měříme jako záporné hodnoty

Deklinace δ se během roku mění, pro výpočty se uvádí tabelované hodnoty pro jeden den v měsíci, volí se 21. den v měsíci.

Výpočet polohy Slunce nad obzorem:

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau \quad (0.1)$$

a azimutu Slunce:

$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot \sin \tau \quad (0.2)$$

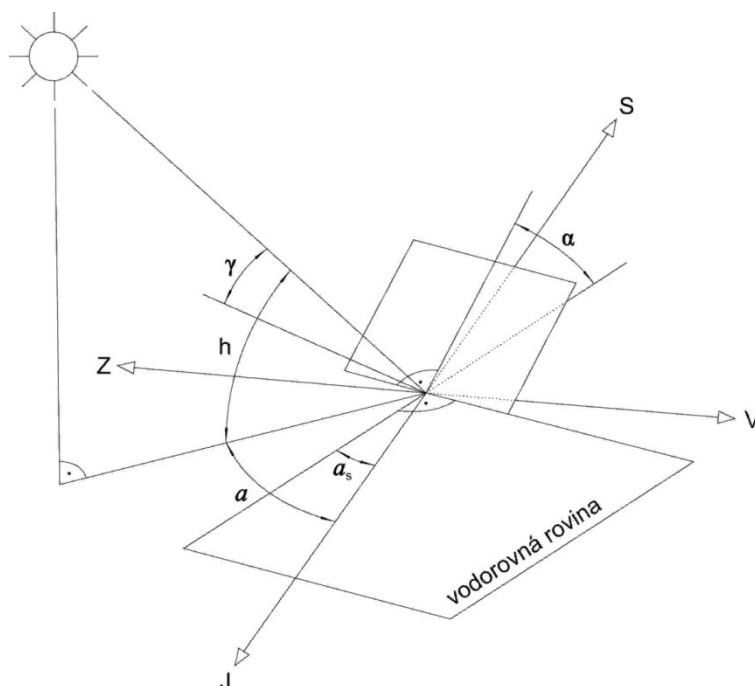
Pokud tedy známe všechny parametry (0.1), (0.2) můžeme určit úhel γ , který svírá normála osluněné plochy se směrem dopadajících paprsků.

Výpočet úhlu dopadu slunečních paprsků:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos a + \cos h \cdot \sin a \cdot \cos (a - a_s) \quad (0.3)$$

(Matuška, 2009).

Pro představu o uvedených parametrech je vložen schématický obrázek.



Obrázek 1 Směr dopadajícího slunečního záření na osluněnou plochu
(zdroj: Cihelka, J., Solární tepelná technika, Praha 1994)

3.2.1 Výpočet intenzity přímého záření

Výpočet přímého záření na plochu kolmou k slunečním paprskům:

$$G_{bn} = G_0 \exp\left(-\frac{Z}{\epsilon}\right) \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (0.4)$$

ϵ - součinitel, závislý na nadmořské výšce daného místa a na výšce Slunce nad obzorem. Pro průměrnou výšku na území ČR $H = 300$ m je součinitel ϵ roven

$$\epsilon = 4,83182 \cdot [\sinh + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}] + 0,91018$$

Intenzita přímého slunečního záření pro obecně položenou plochu s polohou určenou azimutem a_s a úhlem sklonu α je dána tímto vztahem:

$$G_b = G_{bn} \cdot \cos \gamma \quad [\text{W.m}^{-2}] \quad (0.5)$$

(Cihelka, 1994).

3.2.2 Výpočet intenzity difuzního záření

Mezi difuzní záření, které dopadá na osluněnou plochu, řadíme záření rozptýlené při průchodu atmosférou a záření odražené od okolních ploch a dopadající na osluněnou plochu. Důležitým poznatkem je, že záření při rozptylu nemění svou vlnovou délku. Při zatažené obloze se sice zmenšuje odraz od okolních ploch, ale za to se zvětšuje intenzita rozptýleného záření.

Výpočet intenzity difuzního záření:

$$G_d = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot G_{dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (G_{ph} + G_{dh}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (0.6)$$

r – reflexní schopnost, neboli albedo okolních ploch pro sluneční paprsky, udává se hodnota $r = 20$.

G_{ph} – intenzita slunečního záření na vodorovnou plochu

G_{dh} – intenzita difuzního záření na vodorovnou plochu

Při výpočtech se využívá hodnoty součinitele znečištění $Z = 3$, což odpovídá venkovské nebo příměstské zástavbě (Cihelka, 1994).

3.2.3 Skutečné množství energie

Pokud chceme dospět k hodnotě skutečného množství energie, dopadajícího na osluněnou plochu, musíme si nejprve vyjádřit teoreticky možné množství dopadající energie $Q_{S \text{ den teor}}$. Je to energie dopadající na osluněnou plochu v případě jasné oblohy a vypočteme ji podle vzorce:

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (0.7)$$

Krajními hodnotami je určená teoretická astronomická doba slunečního svitu τ_{teor} .

Hodnoty τ_{teor} pro charakteristické dny² v 50° s.š. jsou uvedeny v literatuře (Cihelka, 1994), (Matuška, 2009). Krajiní hodnoty intervalu τ_1 a τ_2 znamenají východ a západ Slunce daný den.

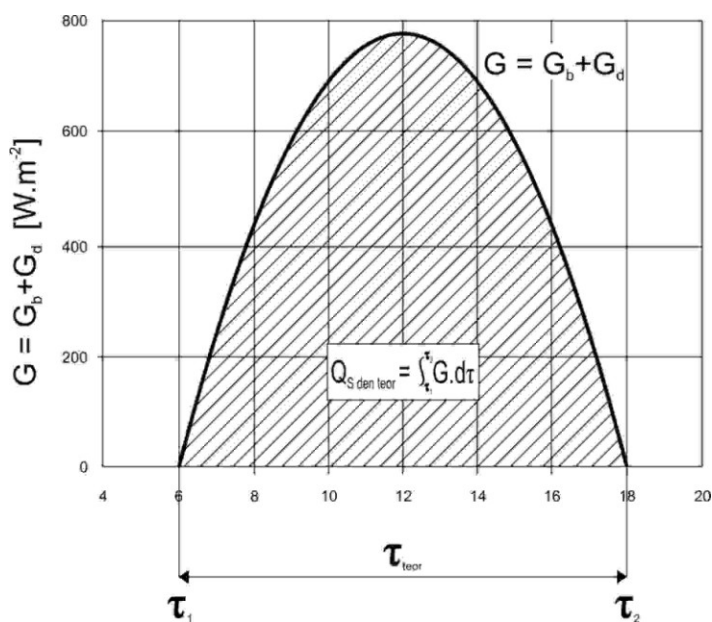
Pokud známe τ_{teor} , můžeme si odvodit střední intenzitu záření G_S během dne, která je výhodnější při výpočtech vycházejících z dlouhodobých meteorologických údajů.

Výpočet střední intenzity slunečního záření je naznačen zde:

$$G_S = \frac{1}{\tau_{\text{teor}}} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \frac{Q_{S \text{ den teor}}}{\tau_{\text{teor}}} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (0.8)$$

V grafu můžeme vidět souvislost mezi τ_{teor} a mezi $Q_{S \text{ den teor}}$.

Graf 3 Průběh slunečního ozáření za jasné oblohy
(zdroj: Matuška, T., Solární tepelné soustavy, Praha 2009)



$Q_{S \text{ den teor}}$ dosahuje maximálních hodnot v měsíci červnu, minimálních v prosinci. Orientace plochy se volí tak, aby byla co nejvíce orientována na jih.

² Charakteristický den – volí se 21. den v měsíci, pro nějž se pak počítají všechny parametry.

Praktický problém nastává, jestliže osluněná plocha není orientována přímo k jihu. Jestliže je orientována ve směru východ-západ, je výhodnější zvolit umístění plochy na západ, protože při odpoledním záření je již také více ohřátý okolní vzduch a zařízení pro sběr tepla pracuje s vyšší účinností.

Teoreticky možné množství energie $Q_{S \text{ den teor}}$ vyjadřuje tedy množství energie, které dopadne na osluněnou plochu za jasného dne, tedy pouze při přímém záření G_b . Již však víme, že přímé záření je jen jednou ze složek slunečního záření. Nejčastěji se během dne střídá přímé záření G_b a difuzní záření G_d .

Při výpočtech skutečného množství dopadané energie počítáme s dlouhodobými průměry, nejčastěji za 1 měsíc. Neznáme tedy sumy obou složek globálního záření. Co však známe, je skutečná doba slunečního svitu τ_{skut} . Měření provádí Český hydrometeorologický ústav. Tyto data lze zakoupit.

Jestliže známe teoretickou dobu slunečního svitu τ_{teor} a skutečnou dobu slunečního svitu τ_{skut} můžeme si vyjádřit poměrnou dobu slunečního svitu τ' jako:

$$\tau' = \frac{\tau_{\text{skut}}}{\tau_{\text{teor}}}[\text{hod}] \quad (0.9)$$

V ČR celková doba slunečního svitu nabývá hodnot od 1 700 až 2200 h.rok⁻¹ a stoupá ve směru západ-východ. Doba slunečního svitu je v jednotlivých měsících různá. Nejnižší bývá v prosinci a nejvyšší je červenci.

Potom skutečnou energii dopadajícího záření za jeden charakteristický $Q_{S \text{ den}}$ spočteme ze vzorce:

$$Q_{S \text{ den}} = \tau' \cdot Q_{S \text{ den teor}} + (1 - \tau') \cdot Q_{D \text{ den}} [\text{kW.h.m}^{-2}] \quad (1.0)$$

Hodnoty energie difuzního záření $Q_{D \text{ den}}$ jsou tabulkovány a najdeme je v literatuře (Cihelka, 1994), (Matuška, 2009).

Skutečná energie dopadajícího záření za jeden charakteristický den $Q_{S\ den}$ nám sice podává kompletní informaci o dopadané energii, ale jen pro charakteristický den v měsíci. Pokud bychom chtěli zjistit skutečnou energii dopadanou za měsíc, budeme počítat podle vzorce:

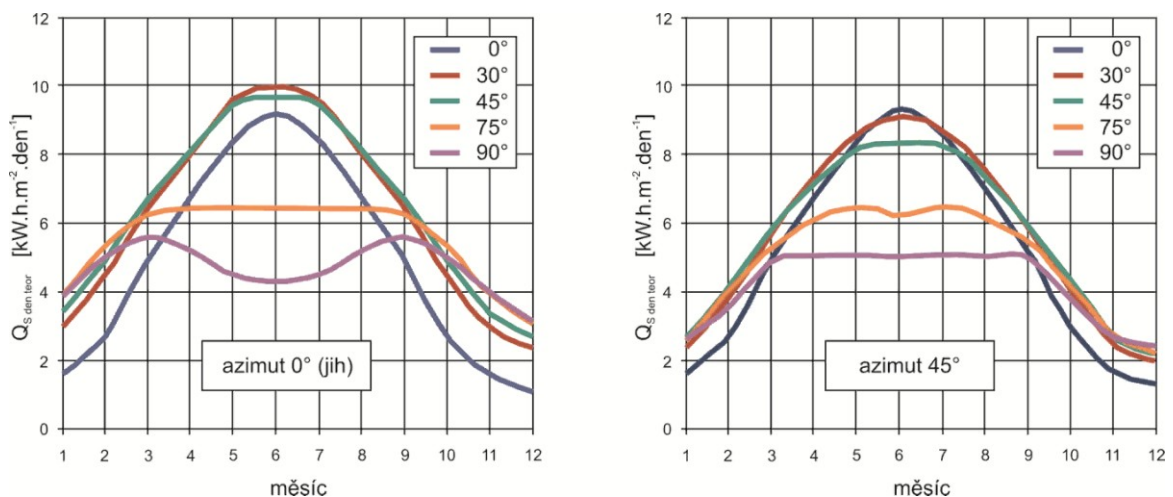
$$Q_{S\ m\acute{e}s} = n Q_{S\ den} = n \cdot \tau' \cdot Q_{S\ den} + n(1 - \tau') \cdot Q_{D\ den} \text{ [kW.h.m}^{-2}\text{]} \quad (1.1)$$

Nejvyšších hodnot dosahuje dopadající záření při orientaci na jižní stranu a se sklonem osluněné plochy 45° .

V ČR se množství energie dopadající na plochu 1 m^2 za rok pohybuje od $1\,000$ do $1\,200 \text{ kWh.m}^2.\text{rok}^{-1}$.

V následujícím grafu můžeme vidět porovnání různě skloněných ploch při orientaci 0° a 45° na jih (Matuška, 2009).

Graf 4 Vliv sklonu a orientace plochy na teoretickou denní dávku slunečního ozáření v průběhu roku
(zdroj: Matuška, T., Solární tepelné soustavy, Praha 2009)



3.3 Využití sluneční energie

Už od pradávna lidé vymýšlí, jak využívat dopadajícího slunečního záření a jak je přeměnit v dostupnější energii. Při zachycování fotonů ze Slunce jsou problematické dva hlavní aspekty. Tím prvním je nestabilita slunečního záření, která se projevuje nejen střídáním ročních období, ale také střídáním noci a dne a zároveň během světelné fáze dne,

kdy se mění oblačnost a dochází k rozptylu záření. Dalším problematickým prvkem při využívání sluneční energie je pak nižší koncentrace záření v ploše.

Využití sluneční energie lze rozdělit podle několika hledisek:

1. Na jakou výslednou energii přeměňujeme sluneční záření
2. Podle způsobu využití sluneční energie

Rozdělení způsobu využití sluneční energie podle výsledné energie:

- a) Mechanické – málo využívaná, impuls (tlak) fotonů slunečního záření je nepatrný, ve stádiu výzkumu
- b) Chemické – termochemický rozklad vody, opět ve stádiu výzkumu, vyvinuty pokusné reaktory
- c) Elektrické – fotovoltaický jev, výroba elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů
- d) Tepelné – přímá přeměna sluneční energie v teplo, například solární systém pro ohřev teplé vody

Rozdělení podle způsobu využití sluneční energie

- a) Aktivní využití sluneční energie – získávání sluneční energie pomocí technických zařízení a systémů, například fotovoltaické elektrárny
- b) Pasivní využití sluneční energie – získávání sluneční energie bez pomoci technických zařízení, například využití sluneční energie v pasivním domě.
- c) Kombinace pasivních a aktivních systémů – lineární Fresenlovy čočky (Brož,2003).

Dále budou popsána zařízení, která přeměňují sluneční energii v energii tepelnou.

3.4 Zařízení na zachycení sluneční energie a její přeměnu v teplo

V předchozích kapitolách jsme si definovali množství sluneční energie dopadající na zemský povrch na určitou osluněnou plochu. Pokud bychom chtěli tuto energii aktivně využít například ve formě tepla, musíme přidat zařízení, které nám dopadající sluneční záření přemění. Těmto zařízením se říká solární kolektory.

Nutno dodat, že sluneční kolektory se dělí na kapalinové, vzduchové nebo kombinované. Dále se budeme zabývat slunečními kolektory kapalinovými. Vzduchové nebo kombinované sluneční kolektory se využívají pro aplikace, které nejsou předmětem této diplomové práce. Nejčastější využití vzduchových kolektorů je pro ohřev vzduchu a jeho další využití například při sušení zemědělských produktů (Remmers, 2007).

3.4.1 Rozdělení solárních kapalinových kolektorů

Solární kolektory lze rozdělit podle několika hledisek. Nejčastěji se dělí podle konstrukční kombinace:

- Plochý nekrytý kolektor – většinou EPDM rohož, používá se pro sezónní ohřev bazénové vody
- Plochý neselektivní kolektor – zasklený deskový kolektor, zpravidla se využívá pro sezónní ohřev teplé vody při nízké teplotní úrovni³
- Plochý selektivní kolektor – zasklený kolektor se selektivním povrchem absorbéru, použití při ohřevu teplé vody nebo přitápění
- Plochý vakuový kolektor – zasklený plochý kolektor, selektivní povrch absorbérů, izolace je uvnitř kolektoru tvořena vakuem, průmyslové aplikace
- Trubkový vakuový kolektor – zasklená trubice, plochý nebo válcový selektivní absorbér, provozní teploty nad 100°C, průmyslové aplikace
- Koncentrický kolektor – použití optických elementů k usměrnění záření, využití těchto kolektorů je např. v termosolárních elektrárnách

V systémech pro ohřev teplé vody nebo v kombinovaných systémech s přitápěním se nejčastěji používají ploché selektivní, ploché vakuové nebo trubkové vakuové kolektory. Právě na plochém selektivním slunečním kolektoru si vysvětlíme základní prvky konstrukce kolektoru a také jeho výkon a účinnost (Matuška, 2010).

³ V místech s dostatkem slunečního záření - například státy jižní Evropy

3.4.2 Konstrukce solárního kolektoru se selektivním absorberem

Solární, neboli sluneční kolektor je technické zařízení, sloužící k zachycení slunečního záření, jeho pohlcení a přeměně na sluneční energii. Využívá se zde jevu fototermální přeměny.

Tento fyzikální jev spočívá v absorpci energie fotonů na povrchu tuhých látek, anebo kapalin, kde se energie dopadajících fotonů předává molekulám, které tak získají větší energii a díky jejich pohybu vzniká teplo (Hestnes, 2010).

Základním prvkem slunečních kolektorů je tedy absorpční plocha, neboli absorber, na kterém probíhá fototermální přeměna. Pro snížení tepelné ztráty na absorberu se používá zasklení a tepelná izolace. Tepelná izolace se přidává na zadních anebo také bočních stěnách absorberu, které nepřijímají sluneční záření. Zasklení se používá na přední straně absorberu. Zasklení brání jednak úniku tepla při sálání z absorpční plochy (je nepropustné pro dlouhovlnné záření), ale také tvoří mezi absorberem a sklem vzduchovou vrstvu, která vytváří tepelný odpor.

Zasklení absorberu na druhé straně negativně ovlivňuje průchod slunečních paprsků. Sluneční záření se láme na jednotlivých fázových rozhraních materiálu a prostředí, nebo se může pohlcovat ve vlastním materiálu zasklení. Optické ztráty vlivem rozptylu na jednotlivých fázích se mohou pohybovat okolo 8 %. Pro omezení ztrát vlivem pohlcení se používají skla s nízkými obsahy oxidů železa. Takto se ztráty vlivem pohlcení sníží na méně než 1 %. Optické ztráty odrazem jsou dány rozdílnými indexy lomu zasklení a vzduchu. Pro snížení ztrát se aplikují antireflexní povlaky s definovanými indexy lomu a tloušťkou. Tyto povlaky snižují optické ztráty o 4-5 %.

Tepelné ztráty vlivem zasklení nejde omezovat přidáváním dalších vrstev zasklení, protože by se zhoršily podmínky propustnosti pro sluneční záření.

S „pohybem“ Slunce po obloze souvisí odlišný úhel dopadů slunečních paprsků při dopadu na absorber. Při velkých úhlech, tj. od 40° - 50° , se začne pokles záření prudce zvyšovat. Pro zvýšení propustnosti i při vyšších úhlech se používají různé druhy prizmatických zasklení, které lámou dopadající paprsek směrem k absorberu. Z praxe jsou známy případy, a někteří autoři to potvrzují, kdy prizmatické zasklení mělo zakrýt vady na absorberu (Matuška, 2010).

Zasklením budoucnosti je zřejmě zasklení na bázi křemičitého aerogelu. Tato pórovitá struktura SiO_2 obsahuje z 90 – 95 % vzduch. Aerogel je vyznačuje vysokou propustností slunečního záření a velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti. V současné době je výzkum zasklení na bázi aerogelu orientován na aplikace v oknech (AspenAerogels, 1.3.2014, [online]).

Samotný absorbér je vyhotoven z hliníkového nebo měděného plechu, na kterém jsou nanášeny spektrálně selektivní povrchy. Absorpční plocha by měla mít co nejnížší odrazivost v oblasti krátkých vln, tj. o vlnových délkách 0,3 až 3,0 μm . Odrazivost si můžeme vyjádřit také jako pohltivost. Dále by měla mít co nejvyšší odrazivost v oblasti dlouhých vln, tj. o vlnových délkách nad 3,0 μm .

Selektivní povrchy se vyrábí nejčastěji elektrochemicky, napařováním nebo naprašováním. Většina kolektorů na trhu v ČR má selektivní povrch vyhotoven z keramicko-kovových vícevrstvých povlaků. V těchto povlacích, které jsou nanášeny na plechový nosič, se postupně snižuje množství částic kovů, až do poslední vrstvy, která slouží jako antireflexní povlak pro snížení odrazivosti. Sluneční záření o vlnových délkách 0,3 až 3,0 μm se pak pohlcuje na částicích o vysoké pohltivosti a IR záření nad 3,0 μm se od podkladu odráží (Matuška, 2009).

V současné době je trend ve výzkumu selektivních povrchů orientován spíše na zlevnění výroby povrchů nebo na zlepšení dopadů výroby na životní prostředí, jelikož se zdá, že kvalitní selektivní povrchy již došly ke svým limitům (Matuška, 2005).

Na kovovém absorbéru je pro odvod tepla připevněn trubkový registr. Pro vysoký odvod tepla z absorbéru se používají měděné nebo hliníkové registry, což umožňuje použít malé tloušťky materiálu a také větší rozteč mezi registry. U registrů velmi záleží na tom, jakým způsobem jsou k absorbéru uchyceny. Kvalitní kolektory by měly mít trubkový registr zalisován po celém obvodu registru do absorpční vrstvy. Tento tepelně vodivý spoj má vliv na přenos tepla ve směru absorbér – registr. Pokud je registr k absorbéru přichycen pouze bodovým svarem, bude přenos tepla méně hodnotný, než s celoobvodově zalisovaným registrem.

Také to, jak je provedeno zapojení trubkového registru, má vliv na celkovou účinnost solárního kolektoru. Průtok teplotonosné kapaliny registrem by měl být hydraulicky vyvážený, tzn. měl by umožňovat rovnoměrný odvod tepla z kolektoru.

Pod absorbérem a v jeho okrajích je vložena tepelná izolace, snižující tepelné ztráty kolektoru. Tepelná izolace musí být z materiálu, který je odolný teplotám od 140 °C u plochých kolektorů a do 250 °C u vakuových trubicových kolektorů. Tepelná izolace je nejčastěji z minerálních kamenných, anebo skelných vláken. U vakuových kolektorů funkci izolace zajišťuje vrstva vakua.

Absorbér s registrem a tepelná izolace a částečně i zasklení jsou umístěny ve vnějším obalu kolektoru, kterému se říká kolektorová vana nebo skříň. Skříň vytváří pevný obal kolektoru a chrání jej navíc před nepříznivými venkovními vlivy. Materiál skříně je nejčastěji hliníkový plech. Kolektorová vana by také měla být dostatečně těsná a měla by bránit průnikům z venkovního prostředí. Problémy způsobuje především pronikání vodní páry dovnitř kolektoru. V ranních hodinách může pára kondenzovat na zasklení a může tak výrazně zhoršovat parametry kolektoru. Pro utěsnění kolektorové vany se nejčastěji používají materiály na bázi EPDM.

3.4.3 Vztažná plocha solárního kolektoru

Při výpočtech účinnosti kolektoru si musíme jasně definovat, k jaké ploše kolektoru si budeme výpočty vztahovat.

Při pohledu na plochý kolektor si můžeme rozlišit celkem tři základní plochy. Tyto plochy jsou:

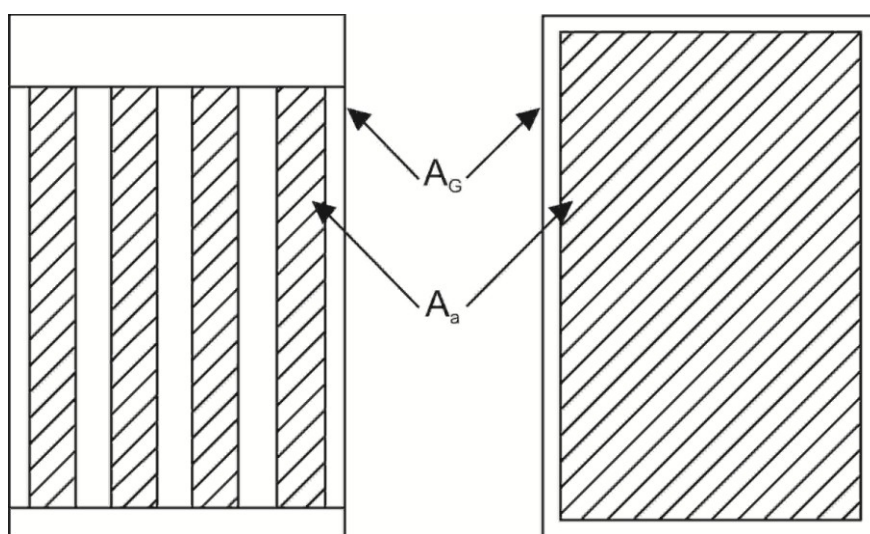
A_A – plocha absorbéru, na které dochází k přeměně slunečního záření v teplo

A_a – plocha apertury, otvor, kterým vstupuje sluneční záření do kolektoru

A_G – průmět obrysu kolektoru, půdorysný nebo vodorovný průmět celého kolektoru

Nejmenší plochou je plocha absorbéru A_A . Velikost této plochy však lze změřit jen při rozebrání kolektoru. Plocha apertury A_a znamená u plochého kolektoru plochu propustné části zasklení. Tato plocha je snadno přístupná, lze ji tedy jednoduše změřit a je také považována za referenční plochu kolektoru. Průmět obrysu kolektoru A_G zohledňuje celkovou plochu, kterou kolektor zaujímá při instalaci například na střeše. Tento údaj má smysl při porovnávání potenciálu využití sluneční energie na konkrétním místě instalace mezi různými typy solárních kolektorů, především pak mezi plochými a trubicovými kolektory. Trubicové kolektory vykazují větší podíl neúčinné plochy vzhledem k celkové instalované ploše v porovnání s plochými kolektory.

Na následujícím obrázku jsou vysvětleny rozdíly mezi plochou apertury A_a a obrysové plochy kolektoru A_G . Dále je zobrazen rozdíl mezi plochými a trubcovými kolektory. Porovnání plochých a trubcových kolektorů není předmětem této práce, nicméně je vhodné podotknout, že mnoho odborníků upozorňuje na situaci, kdy trubcové kolektory vykazují oproti deskovým kolektorům vysoký podíl neúčinné plochy k celkově zastavěné ploše. Dochází tak často k situaci, že na ploše, která je pro instalaci k dispozici, lze plochými kolektory zajistit vyšší výkony a vyšší celkové zisky, než s trubkovými kolektory bez reflektoru.



Obrázek 2 Rozdíl mezi vztaznou plochou trubcového a plochého kolektoru
(zdroj: Matuška, T., Solární zařízení v příkladech, Praha 2013)

Ve výpočetním programu Bilance solárních termických systémů⁴ je plocha apertury jedním ze základních parametrů při navrhování solárních soustav. Plocha apertury je zde označena jako A_{k1} a vztahuje se k jednomu solárnímu kolektoru. Celková plocha apertury je zde značena jako A_k a dostaneme ji vynásobením plochy A_{k1} počtem kolektorů.

3.4.4 Účinnost kolektoru

Pro navrhování konkrétních solárních soustav musíme znát charakteristické parametry solárních kolektorů a jejich závislost na provozních podmínkách.

⁴ <http://www.novazelenausporam.cz> [online]

Nejčastěji se funkce solárního kolektoru popisuje podle rovnice energetické rovnováhy:

$$Q_k = Q_s \cdot Q_{z,o} \cdot Q_{z,t} [\text{W}] \quad (1.2)$$

Q_k – tepelný výkon solárního kolektoru [W]

Q_s – výkon slunečního ozáření jímací plochy kolektoru [W]

$Q_{z,o}$ – optické ztráty kolektoru [W]

$Q_{z,t}$ – tepelné ztráty kolektoru [W]

Dosazením a úpravou rovnice získáme rovnici využitelného výkonu kolektoru v závislosti na povrchové teplotě absorbéru:

$$Q_k = G \cdot A_k \cdot \tau \cdot \alpha \cdot t_{abs} \cdot t_e [\text{W}] \quad (1.3)$$

G – tepelný výkon kolektoru [W]

A_k – vztažná plocha kolektoru [m^2]

τ – propustnost záření

α – pohltivost absorbéru

t_{abs} – střední povrchová teplota absorbéru [$^{\circ}\text{C}$]

t_e – teplota okolního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

Po úpravě dostaneme rovnici účinnosti kolektoru za ustálených podmínek:

$$\eta = \tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(t_{abs} - t_e)}{G} \quad [\%] \quad (1.4)$$

$\tau \cdot \alpha$ – optická účinnost kolektoru

U – součinitel prostupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$\frac{(t_{abs} - t_e)}{G}$ – střední redukovaný teplotní spád mezi povrchem absorberu a okolím [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

Rovnice nám ukazuje, že pro vyjádření účinnosti kolektoru jsou důležité dva hlavní parametry - optická účinnost a součinitel prostupu tepla.

Rovnice však vyjadřuje účinnost kolektoru pouze v závislosti na vnějších parametrech. Nejsou zohledněny další faktory, např. vliv průtoku teplotnosné kapaliny, zohlednění vlivu použitého materiálu apod. Pro vyjádření kvality přenosu tepla do teplotnosné kapaliny se používá účinnostní součinitel kolektoru F . Tento součinitel je pro danou konstrukci absorpční plochy konstantní a je závislý na tepelných vlastnostech absorberu a na přestupu tepla v trubkách registru. Účinnostní součinitel F lze na základě dodaných parametrů dopočítat (Duffie, 2013).

Se zavedením součinitele F si můžeme sestavit rovnici účinnosti solárního kolektoru v závislosti na střední teplotě teplotnosné kapaliny. Rovnice vyjadřuje evropský standard:

$$\eta_k = F \cdot \left[\tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(t_m - t_e)}{G} \right] [\text{W}] \quad (1.5)$$

$F \cdot \tau \cdot \alpha$ – účinnost při nulových tepelných ztrátách

$F \cdot U$ – účinný součinitel prostupu tepla kolektoru [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

$\frac{(t_m - t_e)}{G}$ – střední redukovaný teplotní spád mezi kapalinou a okolím [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

3.4.5 Experimentální stanovení výkonu a účinnosti

Měření výkonu a stanovení účinnosti vychází z normy ČSN EN 12975-2:2006. V této normě jsou popsány metody postupy při určování ustáleného tepelného výkonu kolektoru ve venkovním a vnitřním prostředí.

Při určování výkonu ve venkovním prostředí měření probíhá při záření nad úrovní 700 W.m^{-2} . Sluneční záření musí dopadat na rovinu kolektoru s kolmou odchylkou maximálně 20° . Ventilátory zabezpečují proudění větru minimálně 3 m.s^{-1} . Kolektor se zkouší minimálně na 4 vstupní teploty, přičemž jedna z nich musí být blízko teploty okolí - pro stanovení optické účinnosti kolektoru (nulové tepelné ztráty). Teplonosnou kapalinou je voda.

Účinnost slunečního kolektoru se při daných provozních podmínkách určuje podle vzorce:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_2 \cdot G \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2 [\%] \quad (1.6)$$

η_k – účinnost slunečního kolektoru při daných provozních podmínkách

η_0 – účinnost při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou kapaliny a prostředím

a_1 - lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$]

a_2 – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$]

Tyto tři parametry spolu s absorpční plochou kolektoru patří k nejdůležitějším prvkům při navrhování solárních soustav. Měly by být vždy uvedeny v technickém listu kolektoru. Tyto parametry jsou obdobou výkonu a účinnosti elektrických nebo plynových kotlů.

Tyto tři parametry jsou také zahrnuty do bilance solárních termických systémů pro potřeby programu Nová Zelená Úsporám a budou použity i v následujících výpočtech v experimentální části.

3.4.6 Certifikace solárních kolektorů

Pro sluneční kapalinové kolektory existují dvě české a evropské normy:

1. ČSN EN 12975-1 (73 0301) – Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 1: Všeobecné požadavky

2. ČSN EN 12975-2 (73 0301) – Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody

Normy definují požadavky na odolnost, spolehlivost a bezpečnost solárních soustav a také popisují zkušební metody a podmínky, za jakých mohou být sluneční kolektory zkoušeny.

Pokud kolektor splní podmínky obou částí těchto norem, lze jej označit za spolehlivý (Matuška, 2013).

Nicméně dle platné legislativy nejsou výrobci ani dovozci povinni uvádět, zda jejich kolektor prošel zkoušením a jestli splňuje požadavky dle ČSN EN 12975-1/2.

Pro zlepšení orientace zákazníků na trhu se solárními kolektory byl zaveden systém dobrovolné certifikace třetí stranou Solar Keymark. Systém byl zaveden Evropskou komisí pro normalizaci a spolupracovala na něm Evropská federace pro průmysl solární techniky ESTIF.

Značka Solar Keymark znamená, že kolektor, který obdržel tuto značku, splňuje podmínky certifikace a jedná se tedy o kvalitní výrobek, jehož účinnost se během doby provozu podstatně nezmění. Je to tedy určitá záruka kvality nabízeného zboží. Pro prodávajícího má značka výhodu v tom, že je uznávána prakticky po celé Evropě. Solar Keymark však neříká, že označený kolektor je svým výkonem špičkovým výrobkem. Certifikace Solar Keymark probíhá v akreditovaných laboratořích (ESTIF, 13.3.2014, [online]).

Další označení solárních kolektorů, které vypovídá více o parametrech, je značení Německé spolkové agentury pro životní prostředí – Der Blaue Engel. V tomto případě se zohledňují nejen energetické parametry kolektoru, ale také například způsob výroby kolektoru, např. jestli je výroba solárního kolektoru šetrná k životnímu prostředí (RAL-UZ-73, 2009).

4 Solární tepelné soustavy

Přeměna sluneční energie v teplo se může uplatnit prakticky v každém oboru nebo provozu, kde vzniká určitá potřeba tepla. Téměř ve všech aplikacích však tvoří pouze dodatkový zdroj tepla. Stává se tedy šetřičem energie nebo paliva.

Systémů s využitím sluneční energie a její přeměny v teplo existuje mnoho. Nejčastěji se uvádí toto rozdělení (Remmers, 2007):

- příprava teplé vody
- kombinovaná příprava teplé vody s podporou vytápění
- ohřev bazénové vody
- soustavy centralizovaného zásobování teplem
- solární chlazení
- průmyslové aplikace

Dále následuje popis solárních tepelných soustav pro přípravu teplé vody, na něž se zaměřuje tato práce především.

4.1 Příprava teplé vody

Základním posláním solárního systému pro přípravu teplé vody je částečná náhrada zdroje tepla pro ohřev teplé vody. Existují také soustavy, které kryjí potřebu tepla ze 100 procent (Guzowski, 2010), avšak tyto systémy jsou ekonomicky náročné a fungují většinou jen jako výzkumné projekty.

Solární soustavy pro ohřev teplé vody se dělí nejčastěji podle velikosti sběrné – kolektorové plochy na:

1. Malé solární soustavy – maloplošné, do 20 m² kolektorové plochy
2. Střední solární soustavy – středněplošné, od 20 m² do 200 m²
3. Velké solární soustavy – velkoplošné, od 200 m²

Právě maloplošné solární soustavy pro ohřev teplé vody bývají nejčastěji aplikovány na rodinných domech, a proto budou předmětem našeho zájmu.

Jedná se o aplikace, ve kterých plocha kolektorového pole je nejčastěji od 4 do 10 m², v závislosti na vypočítané potřebě tepla pro ohřev teplé vody. Vzhledem k počtu osob, žijících v rodinných domech – většinou se jedná o 4-5 osob v jedné bytové jednotce, se instalují zásobníky o objemu od 200 do 500 l. Výhodou těchto systémů je jednoduchá regulace a typizace dalších prvků solární soustavy. Obojí usnadňuje montáž soustavy. Provoz těchto soustav je navržen jako rychle průtočný. Mezi absorbérem a teplotonosnou kapalinou dochází ke zvýšení teploty o 7 až 10 K, což je výhodné z hlediska vyšší účinnosti.

U maloplošných solárních soustav rozeznáváme dvě hlavní možná schémata zapojení:

1. Solární soustavy s předehřívacím zásobníkem
2. Solární soustavy s bivalentním zásobníkem

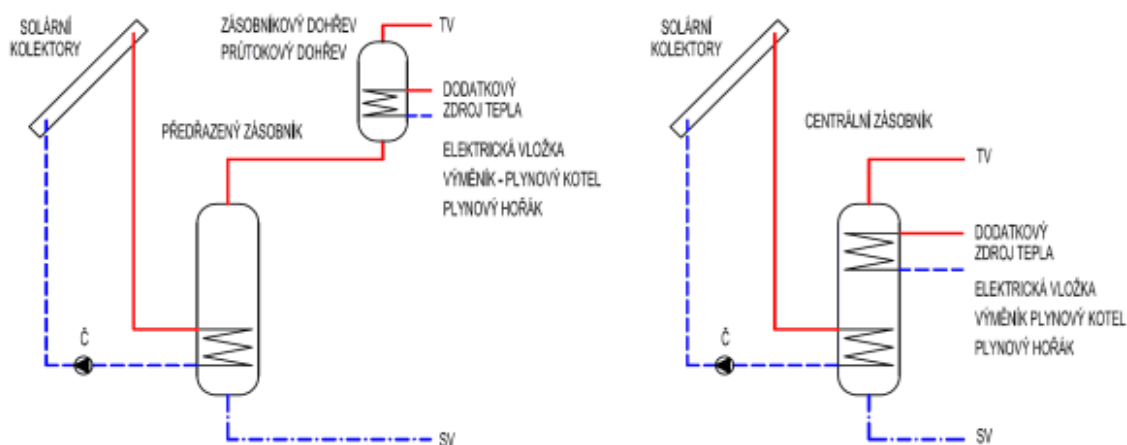
4.1.1 Soustavy s předehřívacím zásobníkem

V této variantě se teplo z kolektorů předává do zásobníku, který není dohříván jiným zdrojem tepla. Výstup teplé vody z tohoto zásobníku je přiveden jako vstup do dohřívacího zásobníku, kde je ohřátá voda dohřívána dalším zdrojem tepla. Lze také umožnit, aby předehřívací zásobník sloužil jako hlavní zásobník, například v letním období, kdy je dostatek slunečního záření. Takto lze úplně odstavit dohřívací zdroj tepla. Tyto instalace se provádějí především při rekonstrukcích. Výhodou tohoto zapojení spočívá právě v odděleném dohřevu, přičemž dodatkový zdroj tepla svou dodávkou tepla neovlivňuje účinnost solární soustavy. Nevýhodou tohoto zapojení jsou vyšší tepelné ztráty, vyplývající z dvojnásobného počtu zásobníků a větší nároky na zastavěný prostor.

4.1.2 Soustavy s bivalentním zásobníkem

Soustavy s bivalentním zásobníkem pracují se zásobníkem, do kterého se předává jednak teplo z kolektorů, a jednak využívají další zdroj tepla. Zdrojů tepla může být v zásobníku i více. Jedná se tedy o kompaktní provedení solárního ohřevu s dalším zdrojem (zdroji) tepla. Výhodou tohoto zapojení jsou nižší nároky na prostor a nižší tepelné ztráty. K nevýhodám tohoto zapojení se řadí možnost ovlivnění spodní části zásobníku dodatkovým ohřevem a snížení účinnosti předání tepla.

Na následujícím obrázku můžeme vidět schéma zapojení obou typů solárních soustav.



Obrázek 3 Ideové schéma zapojení solárního systému s dodatkovým dohřevem

(zdroj: Matuška, T., Obnovitelná energie a úspory energie, dostupné také: <http://www.tzb-info.cz>, [online])

Možnosti zapojení solární soustavy vychází vždy z konkrétní situace. Výše uvedená schémata zapojení se používají nejčastěji.

4.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Stanovení potřeby tepla pro ohřev teplé vody je prvním krokem při návrhu kolektorového pole solárního systému. V ideálním případě pro vyhotovení návrhu velikosti plochy kolektorového pole se zjišťuje potřeba tepla pomocí měření. Tato zjištění bývají však k dispozici pouze u větších objektů typů bytových domů, na rodinných domech tento údaj většinou neznáme.

V případě, že neznáme potřebu tepla pro ohřev teplé vody pomocí měření, určuje se potřeba tepla pro bilancování solárních soustav podle Technické normalizační informace TNI 73 0302 – Energetické zhodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup. Norma uvádí postup výpočtu a zobrazuje hodnoty měrné denní spotřeby teplé vody při daném teplotním spádu podle objektů, kde dochází k přípravě teplé vody. Tyto objekty jsou zde rozděleny podle způsobu užívání, např. školy, nemocnice, ubytovací zařízení. Rodinné domy jsou zařazeny do kategorie obytných budov. Konkrétní typ

spotřeby je ještě rozdělen do tří pásem, na nízký, střední a vysoký standart (TNI 73 0302, 2009). Výpočtový vzorec:

$$Q_{p,TV} = (1 + z) \cdot \frac{n \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} [\text{kWh.měsíc}^{-1}] \quad (1.7)$$

$Q_{p,TV}$ – celková potřeba tepla na přípravu teplé vody

n – počet dní v daném měsíci

$V_{TV,den}$ – průměrná denní potřeba teplé vody, stanoví se měřením anebo z měrné potřeby tepla vztažené na měrnou jednotku, hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

ρ – měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

t_{TV} – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_{SV} – teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$]

z – přírážka pro zahrnutí tepelných ztrát souvisejících s přípravou teplé vody, například na rozvodech teplé a studené vody, tepelné ztrátě zásobníku atd.

Tento způsob výpočtu potřeby tepla pro ohřev teplé vody je také součástí bilance solárních termických systémů pro potřeby programu Nová Zelená Úsporám a bude sloužit i v našich výpočtech dále.

Právě špatné určení potřeby tepla pro ohřev teplé bývá nejčastější chybou při navrhování solárních teplovodních soustav. Soustavy se zpravidla předimenzují, což vede k přebytkům tepla v létě a nižší celkové účinnosti solární soustavy.

4.3 Hodnocení solárních soustav

Solární soustavy hodnotíme z hlediska:

- Energetického – jako úsporu energie
- Environmentálního - jako úsporu emisí
- Ekonomického – jako úsporu nákladů na nahrazované energie

Pro naše hodnocení solárních tepelných soustav si uvedeme tři základní parametry:

1. Celkový využitelný zisk solárního systému $Q_{ss,u}$ [$\text{kW} \cdot \text{hod} \cdot \text{rok}^{-1}$]

2. Měrný využitelný zisk solárního systému $q_{ss,u}$ [$\text{kW.hod.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$]
3. Solární podíl, pokrytí potřeby tepla f [%]
1. Celkový využitelný zisk solárního systému $Q_{ss,u}$ je celkový zisk energie, do kterého jsou započítány všechny ztráty dané aplikace, např. tepelné ztráty při přípravě teplé vody. Z energetického hlediska celkový využitelný zisk solární soustavy představuje celkovou dosaženou úsporu tepla v dané aplikaci.
2. Měrný využitelný zisk solárního systému $q_{ss,u}$ pak představuje využití tepelné zisky solární soustavy, které se vztahují k instalované ploše apertury solárního kolektoru. Z ekonomického hlediska představuje měrný využitelný zisk informaci o tom, jak velkou úsporu tepla získáme z instalace 1 m^2 kolektorové plochy.
3. Solární podíl, pokrytí potřeby tepla představuje poměr mezi celkovým ziskem $Q_{ss,u}$ a celkovou potřebou tepla. Podíl se uvádí v procentech pokrytí potřeby tepla na ohřev teplé vody.

Tyto tři údaje jsou základními parametry při hodnocení solárních soustav. Slouží také jako kritéria v bilancování solárních systémů v programu Nová Zelená Úsporám.

Splnění zadaných hodnot těchto kritérií podmiňuje získání dotace na pořízení solárního systému. Podmínky pro získání dotace jsou uvedeny v příloze II Směrnice Ministerstva životního prostředí č. 9/2013 o poskytování finančních prostředků v rámci programu Nová Zelená Úsporám.

V následující tabulce jsou uvedena kritéria pro získání dotace na pořízení solárního systému v programu Nová Zelená Úsporám.

Solární soustavy pro ohřev teplé vody jsou zde značeny jako oblast podpory C.3.1.

Tabulka 4 Sledované parametry solárních soustav v programu Nová Zelená Úsporám
(zdroj: <http://www.novazelenausporam.cz>, [online])

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.1
Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy	$Q_{ss,u}$ [kWh.rok ⁻¹]	Bez požadavku
Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy	$Q_{ss,u}$ [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	≥350
Dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody	[%]	50
Instalace akumulčního zásobníku tepla o měrném objemu vztáženém k celkové ploše apertury	[l.m ⁻²]	45

4.4 Stanovení kolektorové plochy pro přípravu teplé vody

Návrh plochy kolektorů pro celoroční přípravu teplé vody se v rodinných domech navrhuje na pokrytí potřeby tepla v měsících dubnu a září. Pokud se výsledné plochy pro každý měsíc liší, spočítá se z těchto ploch průměr.

Takto provedený návrh zajišťuje solární pokrytí ze zhruba 60 %. Navržená plocha kolektorového pole znamená téměř plné pokrytí potřeby tepla v letních měsících. Pokud bychom navrhli kolektorové plochy větší, než zhruba 60 %, vznikaly by obzvláště v letních měsících přebytky tepla.

Přebytky tepla mají negativní vliv na další prvky solárního systému, například na nemrznoucí směs, plastové části čerpadla a další.

Letní přebytky lze omezit instalací dalších spotřebičů, jako jsou ohřev bazénové vody, podpora vytápění s instalací akumulční nádrže topení, případně lze sluneční teplo využívat také k sušení zemědělských plodin a dřeva.

Se stanovením plochy kolektorového pole se současně volí také střední denní teplota teplonosné kapaliny t_m . Teplota se volí 40°C. Tato teplota odpovídá průměrné roční teplotě v zásobníku teplé vody.

4.5 Prvky solární soustavy pro ohřev teplé vody

Solární soustava se kromě slunečního kolektoru skládá z dalších prvků. Jejich správné navržení a montáž vytvářejí základ dokonale pracujícího solárního systému.

Mezi tyto hlavní prvky patří:

1. Zásobník tepla
2. Oběhové čerpadlo
3. Regulátor
4. Potrubí s tepelnou izolací
5. Expanzní nádoba
6. Teplonosná kapalina
7. Topenářské prvky

4.5.1 Zásobník tepla

Jelikož se zpravidla potřeba teplé vody nekryje s nabídkou sluneční energie, je nutné do solární soustavy instalovat zásobník tepla. Nejčastěji se používá vodní zásobník.

Zásobník teplé vody je vyhotoven zpravidla z oceli s vnitřní povrchovou úpravou proti korozi. Pro předávání tepla jak ze solárního systému, tak z dodatkového zdroje tepla se v zásobnících používají teplosměnné plochy, tzv. výměníky. Zásobník je umístěn zpravidla v technické místnosti domu. Pro omezení tepelných ztrát se zásobníky tepla opatřují tepelnou izolací.

Objem solárního zásobníku se navrhuje na 1,5 až 2 násobek potřeby teplé vody (Ladener, 2003). Při návrhu zásobníku se musí sladit tyto aspekty: tepelná kapacita, tepelné ztráty zásobníku, jeho rozměry, cena a v neposlední řadě také životnost.

Pro správnou účinnost solárního systému je nutné zajistit, aby předání tepla z kolektorů do zásobníku bylo s co největší efektivitou. Toho se dosahuje umístěním výměníku solárního systému do nejspodnější části zásobníku, do místa přítoku studené vody. Teplý výměník solární soustavy je tak omýván přitékající studenou vodou. Teplo z kolektorů se tak efektivně předává a ohřívá vodu v zásobníku.

4.5.2 Oběhové čerpadlo

Oběhové čerpadlo v solárním systému slouží k vytvoření průtoku teplotnosného média kolektory a jeho následné dopravě do teplosměnné plochy. Tímto čerpadlo vykonává mechanickou práci, při které se spotřebovává elektrická energie. Čerpadlo je v solárních soustavách řízeno regulátorem. Čerpadlo bývá zpravidla tříotáčkové, moderní čerpadla jsou již řízena elektronicky. Jejich rozšíření však brání vysoké pořizovací náklady.

V malých domovních instalacích, tj. do 20 m² kolektorové plochy se používají oběhová čerpadla modifikovaná pro použití nemrznoucí směsi. Oběhové čerpadlo se umísťuje zpravidla v technické místnosti domu, v blízkosti zásobníku teplé vody. Většinou se používají kompaktní instalační jednotky, které spolu s čerpadlem obsahují pojistný ventil, zpětnou klapku, průtokoměr, kulové kohouty, manometr a teploměr. Jednotka může být dále doplněna o plnicí a proplachovací uzávěry a je také připravena pro napojení expanzní nádrže. Aby se nemusela provádět dlouhá montáž elektrického ovládání čerpadla, je výhodné osadit v blízkosti čerpadlové jednotky také regulátor.

Jelikož se kompaktní jednotky prodávají pro široký rozsah domovních aplikací, je čerpadlo zpravidla předimenzované. Zde je třeba posoudit, zda by nebylo výhodnější čerpadlo vyměnit za méně výkonné a ušetřit tak na jeho následném provozu.

4.5.3 Regulátor

Pokud bychom nazvali čerpadlo srdcem solárního systému, pak regulátor musí být jeho mozkem. Elektronická regulace řídí bezobslužně solární soustavu. V systémech pro ohřev teplé vody jsou do regulátorů zpravidla přivedena dvě teplotní čidla na bázi termočlánků. Dále je do regulátoru přivedeno síťové napětí a také kabel pro ovládání čerpadla.

Nejjednodušší regulátory pracují zpravidla diferenčně, je na nich nastavený parametr dané difference a po jejím překročení se zapíná anebo vypíná oběhové čerpadlo. Jestliže tedy na čidle na kolektorech stoupne teplota oproti čidlu v zásobníku například o 8 K, automatika spustí čerpadlo. Jestliže vlivem ochlazování kolektorů klesne teplota na kolektorovém poli o 4 K oproti čidlu v zásobníku, automatika čerpadlo vypne.

Regulátory dostupné na trhu mají možnost nastavení celé řady parametrů. Mezi běžné funkce regulace by měly patřit:

1. nastavení maximální teploty zásobníku – při dosažení této teploty regulátor automaticky vypíná čerpadlo a teplo se přestává předávat.
2. Nastavení hystereze – určuje, o kolik musí být teplota na kolektorech vyšší, než teplota v zásobníku. Při poklesu pod 4 K je proces přenosu tepla nevýhodný. Práce čerpadla spotřebuje podobné množství energie, jaké by se získalo z kolektorů.
3. Režim „dovolená“ – opatření proti přehřátí zásobníku, například v létě při odjezdu na dovolenou, kdy není zabezpečen odběr teplé vody ze zásobníku. Čerpadlo pracuje neustále a teplo, které se přes den akumuluje v zásobníku, se v noci, při chladnějších teplotách z kolektorů vyzáří do okolí.

Moderní regulátory mají možnost nastavení celé řady parametrů, jako je například měření tepla anebo připojení na PC. Tyto rozšiřující prvky však podstatně zvyšují cenu regulátoru.

4.5.4 Potrubí s tepelnou izolací

Z důvodu vyšších teplot a tlaků, tj. 180 °C a 1 Mpa se v solárních soustavách používají kovová potrubí – měděná anebo ocelová. Nejčastěji se při instalacích používá měděné potrubí, které lze spojovat různými technikami. Nejčastěji se využívá měkkého pájení⁵ anebo lisování.

Při návrhu světlosti potrubí se musí zohlednit několik parametrů, jakými jsou rychlost průtoku teplotnosné kapaliny kolektorovým polem, typ teplotnosné kapaliny – její viskozita a nakonec parametry kolektorů – objem teplotnosné látky v kolektorech a kvalita vyprazdňování kolektorů (Matuška, 2009).

Při návrhu dimenze potrubí se nejčastěji chybuje při jeho zbytečném předimenzování. Větší průměr potrubí pak prodražuje instalaci a má tak vliv na celkový ekonomický provoz solární soustavy. Větším průměrem se také snižuje rychlost proudění v potrubí.

⁵Mekké pájení – pájení měděných spojů při teplotách od 180 do 240 °C.

Rozvod solární soustavy by měl od kolektorového pole k zásobníku mírně klesat a část od zásobníku k poli by měla mírně stoupat.

Při instalacích solárních soustav pro ohřev teplé vody se kovové rozvody opatřují izolacemi. Izolace se instalují z důvodu snížení tepelných ztrát potrubí. Nekvalitně provedená izolace může podstatně snížit celkovou účinnost solárního systému.

Základními požadavky na tepelné izolace jsou odolnost vůči působícím teplotám – hlavně na straně rozvodu solárního systému, odolnost vůči pronikající vlhkosti, odolnost vůči UV záření a nakonec odolnost vůči mechanickému poškození, například proti klování ptáků.

Tloušťka stěny izolace se určuje podle minimálního součinitele prostupu tepla U , který je stanoven vyhláškou.⁶

4.5.5 Expanzní nádoba

Funkcí expanzní nádoby v solárním systému je kompenzovat změny tlaku. Změny tlaku způsobuje tepelná objemová roztažnost teplotního média, kdy v uzavřené soustavě, kterou je solární systém, vlivem zvýšeného tepelného pohybu molekul média stoupá tlak.

Expanzní nádoby jsou kovové. Uvnitř mají pružnou membránu, která rozděluje nádobu na část pro teplotní médium a část se stlačeným plynem, nejčastěji dusíkem anebo vzduchem. Plynová náplň je od výroby naplněna na daný tlak. Jeho velikost lze zkontrolovat tlakoměrem. Většina expanzních nádob pro maloplošné systémy pracuje s tlakem do 6 bar. To je také tlak pojistného ventilu, při kterém dochází k samovolnému odpouštění média a snížení tlaku ze solárního systému.

Objem nádoby se navrhuje tak, aby expanzní nádoba zachytila minimální 1 % až 10 % z celkového objemu teplotní látky v soustavě a také aby zachytila změnu objemu, která vznikne ohřátím z minimální teploty – uvažujeme 10 °C do maximální teploty 140 °C. Dále musí mít expanzní nádoba dostatečný objem tak, aby zachytila celý objem

⁶ Vyhláška 193/2007 kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu teplotní energie a vnitřním rozvodu teplotní energie a chladu

kapaliny z kolektorů. Ten může vzniknout při vývinu páry a následném vytlačení kapaliny z kolektorového pole.

Umístění expanzní nádoby ovlivňuje její životnost. Nádoba by měla být chráněna proti vniknutí horké páry anebo horké kapaliny. Tato ochrana může spočívat například v tom, že neizolujeme úsek potrubí, kterým je nádoba připojena k systému. Typ ochrany se vztahuje vždy k dané aplikaci (Bezouška, 2012).

4.5.6 Teplonosná kapalina

Teplonosná kapalina se používá pro přenos tepla z kolektorů do zásobníku. Využívá se nejčastěji kapalin na bázi glykolu, které mají bod tuhnutí okolo -30 °C. Nejčastěji se využívá propylenglykol s inhibitory koroze. Inhibitory koroze vytvoří tenkou vrstvu na povrchu kovů, která zabraňuje další oxidaci.

Při špatně navržené soustavě anebo při špatném provozu vznikají v solárním systému stagnační stavy a v kolektorech a potrubí může vznikat pára.⁷ Při tom vlivem teploty dochází k vylučování pevných částecek inhibitorů koroze na stěnách rozvodů. Kvalitní teplonosná směs by měla částice zpětně rozpustit a absorbovat.

Degradace kapaliny narůstá s časem používání a také s opakovanými stavy stagnace. Degradace se projevuje posunem pH do kyselé oblasti.

Právě pH teplonosné kapaliny by se mělo periodicky kontrolovat. První kontrola by měla proběhnout po 6-8 letech provozu (Matuska, 2009).

4.5.7 Topenářské prvky

Ačkoliv mají solární soustavy svá specifika, využívá se v nich také spousta klasických topenářských prvků, jako jsou například:

1. Zpětná klapa – zabraňuje zpětné cirkulaci teplonosné směsi při inverzních teplotách v solární soustavě, například v noci, kdy je teplota zásobníku vyšší, než teplota na kolektoru. Vyšším tlakem v zásobníku by docházelo k zpětnému proudění do kolektoru a teplo by se vyzářilo do okolí.

⁷ Stagnace – přehřívání kolektorů a var teplonosné látky, přeměna teplonosné látky v páru.

2. Pojistný ventil – slouží jako ochranný prvek v solární soustavě. V případě, že v okruhu stoupne tlak nad otevírací přetlak pojistného ventilu, ventil se otevře a dochází k úniku kapaliny ze soustavy. Současně dojde k poklesu tlaku pod úroveň nedovoleného tlaku. Otevírací přetlak pojistného ventilu je obvykle 6 bar.
3. Odplynovací zařízení – odvzdušňovací ventily se používají k odstranění plynů v soustavě. Rozpuštěný kyslík v soustavě by mohl způsobovat korozi. Odvzdušňovací zařízení se montuje vždy na nejvyšší místo kolektorového pole. V tomto místě pak dochází k hromadění vzduchu ze soustavy. Dále se odvzdušňovací ventil instaluje také do rozvodu, v místech, kde došlo k přerušení spádu rozvodu, například díky překážce, kterou nelze překonat.

Odvzdušňovací ventily jsou automatické anebo mechanické. Používání automatických ventilů je problematické, z důvodů možných úniků teplonosné směsi při stagnačních teplotách. Dalším argumentem hovořícím proti používání automatických odvzdušňovacích ventilů je jejich náchylnost k poruchám vlivem stagnačních teplot, kdy dochází ke spálení teflonového těsnění a ventil tak ztrácí svou funkci.

5 Experimentální část

V této části diplomové práce jsou popsány vybrané solární systémy pro přípravu teplé vody, jejichž instalace byly realizovány během autorovy praxe. U každého systému je uvedena popisná část. V této části jsou uvedeny informace o realizaci – místo realizace, popis základních prvků solárního systému, zjištěná potřeba tepla na ohřev teplé vody a energetické parametry solární soustavy. Z těchto parametrů vyplývá množství ušetřeného tepla na ohřev teplé vody a jeho ekvivalent v palivu. Celkové množství paliva spotřebovaného na ohřev teplé vody bylo známo před realizací solárního systému, z údajů investora.

Poté následuje výpočtová část, ve které na základě údajů o zdrojích tepla pro dohřev teplé vody a na základě údajů o kvalitě paliva, jsou určeny emisní faktory znečišťujících látek z daného zdroje tepla. Pomocí těchto emisních faktorů je následně spočteno množství emisí, které se ušetří díky instalaci solární soustavy.

Poslední podkapitolou u každé realizace je závěr, ve kterém je provedeno celkové zhodnocení dané realizace.

V přílohách této práce jsou autorizovaná schémata zapojení všech uvedených realizací, spolu výpočty energetických parametrů solárních soustav.

5.1 Solární soustava pro ohřev teplé vody na rodinném domě v Jerlochovicích u Fulneku

5.1.1 Popisná část

Realizace solárního systému pro ohřev teplé vody byla provedena v obci Jerlochovice, Fulnek, okr. Nový Jičín.

V rodinném domě bydlí trvale 3 osoby. Teplá voda je ohřívána v zásobníku o objemu 300 l a ten je dohříván kotlem na tuhá paliva Viadrus Hercules Duo o výkonu 25 kW a účinnosti 87 %.

Potřeba tepla na ohřev teplé vody byla určena podle bilance programu Nová Zelená Úsporám, $Q = 2636 \text{ kWh.rok}^{-1} = 9,49 \text{ GJ}$. Vypočtená potřeba tepla je uvedena v příloze.

Byly zde instalovány 3 ks slunečních kolektorů Thermosolar TS 300 a zásobník teplé vody o objemu 300 l s označením Austra Email 300 HT ERMR. Orientace kolektorového pole je 28° jihovýchod a sklon je 60°. Kolektory jsou umístěny atypicky na pergole u domu. Umístění na střeše domu nebylo možné z důvodu nevýhodné orientace střechy. Z pergoly je veden rozvod do technické místnosti, kde je umístěn zásobník teplé vody a také další součásti solárního systému – čerpadlová jednotka, expanzní nádoba a regulace. Měděný rozvod byl veden atypicky z pergoly do vyhloubené stavební jámy, kde se vložila ochranná trubka z PVC. Do takto připravené konstrukce se poté přivedl měděný rozvod od kolektorů spolu s vedením pro čidlo solárního regulátoru.

Celková cena solárního systému byla 87.000 Kč. Na solární systém byla investorovi poskytnuta dotace ze Státního fondu životního prostředí ve výši 35.000 Kč. Výsledné náklady na realizaci byly 52.000 Kč.

Na obrázku níže můžeme vidět atypické umístění kolektorů na střeše pergoly.



Obrázek 4 Kolektory TS 300 na střeše u RD v Jerlochovicích
(zdroj: archiv autora)

Sluneční kolektory TS 300 jsou umístěny na pergole u domu. Kolektory jsou umístěny ve sklonu 60° k vodorovné rovině tak, aby kopírovaly daný sklon střechy pergoly.

Na dalším obrázku je vidět atypická montáž rozvodu do připraveného výkopu:



Obrázek 5 Montáž rozvodu do připraveného výkopu
(zdroj: archiv autora)

Solární pokrytí potřeby tepla, $f = 74 \%$.

Celkový využitelný zisk solárního systému, $Q_{ss,u} = 1959 \text{ kWh.rok}^{-1} = 7,05 \text{ GJ}$.

5.1.2 Výpočtová část

Před realizací solárního systému byla celková roční spotřeba paliva 650 kg.

Po realizaci solární soustavy klesá celková roční spotřeba tepla přibližně o 74% na 2,44 GJ a roční spotřeba uhlí na 169 kg. Množství ušetřeného paliva za rok je 481 kg.

Jako palivo pro ohřev teplé vody je využíváno hnědé uhlí - kostkoořech, důl Bogatynia, Polsko – kostka 2. Obsah popela $A_p = 6,28\%$, obsah vody $W_{tr} = 46,95\%$, obsah síry $S_p = 0,5\%$. Výhřevnost paliva je $Q_{ir} = 12,83$ MJ/kg.

Výpočet emisního faktoru a následný výpočet emisí se provede podle vzorce uvedeného v kapitole 2.5

Tabulka 5 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Jerlochovice
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Emisní faktor (kg/t)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Emisní faktor daný legislativou	1,0 x A_p	19,0 x S_p	2	45
Vypočtený emisní faktor	6,28	9,5	2	45

Tabulka 6 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru – Jerlochovice

Emise (kg)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Celkové emise	4,1	6,1	1,3	28,9
Ušetřené emise	3,0	4,5	1,0	21,3
Emise po opatření	1,1	1,6	0,3	7,5

5.1.3 Závěr

Po realizaci solárního systému klesá potřeba tepla na ohřev teplé vody o 72 %. O stejnou hodnotu klesá také množství paliva a produkované emise. Množství tuhých znečišťujících látek klesá ročně o 3 kg.

5.2 Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Ostravě – Hošťálkovicích

5.2.1 Popisná část

Realizace solárního systému pro ohřev teplé vody byla provedena obci Hošťálkovice, Ostrava, okr. Ostrava. Dům je umístěn v husté zástavbě okolních rodinných domů.

V rodinném domě bydlí trvale 4 osoby. Teplá voda je ohřívána v zásobníku o objemu 200 l a ten je dohříván kotlem na tuhá paliva ROJEK TKA 25 o výkonu 25 kW a účinnosti 86 %.

Potřeba tepla na ohřev teplé vody byla určena podle bilance programu Nová Zelená Úsporám, $Q = 3515 \text{ kWh.rok}^{-1} = 12,65 \text{ GJ}$.

Byly zde instalovány 2 ks slunečních kolektorů Thermosolar TS 300 a zásobník teplé vody o objemu 200 l s označením OKC 200 NTRR/SOL. Kolektory jsou umístěny na rovné střeše. Výhoda realizací na rovných střechách spočívá v možnosti natočit kolektorové pole přesným způsobem na jih. Dále pak nosná konstrukce kolektorů – vizobrázek č.6 nám umožňuje vytvořit ideální sklon kolektorového pole, tj. 45° k vodorovné rovině, jak je vidět na následujícím obrázku. Ze střechy RD je rozvod veden měděný rozvod do suterénu, kde je umístěn zásobník teplé vody a další prvky solárního systému.

Celková cena solárního systému byla 74.000 Kč. Na solární systém byla poskytnuta dotace SFŽP o výši 29.600 Kč. Celková cena tak byla 44.400 Kč.



Obrázek 6 Nosná konstrukce kolektorového pole pro kolektory TS 300 na střeše RD v Hošťálkovicích
(zdroj: archiv autora)

Solární pokrytí potřeby tepla, $f = 51\%$.

Celkový využitelný zisk solárního systému, $Q_{ss,u} = 1786 \text{ k Wh.rok}^{-1} = 6,43 \text{ GJ}$.

5.2.2 Výpočtová část

Před realizací solárního systému byla celková roční spotřeba paliva 900 kg.

Po realizaci solární soustavy klesá celková roční spotřeba tepla přibližně o 51% na 6,20 GJ a roční spotřeba uhlí na 441 kg. Množství ušetřeného paliva za rok je 459 kg.

Jako palivo pro ohřev teplé vody je využíváno hnědé uhlí – 121 ořech 1, Severočeské doly a.s. . Obsah popela $A_p = 9,8 \%$, obsah vody $W_{tr} = 30,2 \%$, obsah síry $S_p = 0,77\%$. Výhřevnost paliva je $Q_{ir} = 17,6 \text{ MJ/kg}$.

Výpočet emisního faktoru a následný výpočet emisí se provede podle vzorce uvedeného v kapitole 2.5.

Tabulka 7 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Hošťálkovice
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Emisní faktor (kg/t)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Emisní faktor daný legislativou	1,0 x Ap	19,0 x Sp	2	45
Vypočtený emisní faktor	9,8	14,63	2	45

Tabulka 8 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru – Hošťálkovice

Emise (kg)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Celkové emise	8,6	12,8	1,8	39,4
Ušetřené emise	4,4	6,5	0,9	20,1
Emise po opatření	4,2	6,3	0,9	19,3

5.2.3 Závěr

Solární systém pokrývá potřebu tepla z 51 %. Nižší procento pokrytí je v tomto případě zapříčiněno menší kolektorovou plochou – pouze 2 kolektory TS 300. Investor zde upřednostnil variantu nižších solárních zisků, ale zároveň menších celkových investičních nákladů.

I tak v tomto případě klesají emise o více než polovinu. Tuhé znečišťující látky klesají o 4,4 kg/rok, oxid siřičitý o 6,5 kg/rok.

5.3 Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Úvalnu

5.3.1 Popisná část

Realizace solárního systému pro ohřev teplé vody byla provedena v obci Úvalno, okres Bruntál.

V rodinném domě bydlí trvale 3 osoby. Teplá voda je ohřívána v zásobníku o objemu 300 l a ten je dohříván kotlem na tuhá paliva vlastní výroby o výkonu 28 kW a účinnosti 55%.

Potřeba tepla na ohřev teplé vody byla určena podle bilance programu Nová Zelená Úsporám, $Q = 2636 \text{ kWh.rok}^{-1} = 9,49 \text{ GJ}$.

Byly zde instalovány 3 ks slunečních kolektorů Thermosolar TS 300 a zásobník teplé vody o objemu 300 l s označením OKC 300 NTRR/SOL. Měděný rozvod je ze střechy veden interiérem domu do suterénu, kde je technická místnost. Kolektorové pole je natočeno 11° na jihovýchod. Sklon kolektorů k vodorovné rovině je 49° . Celková cena solárního systému byla 88.000 Kč. Na solární systém byla poskytnuta dotace SFŽP o celkové výši 35.000 Kč. Konečná cena pro investora pak byla 53.000 Kč.

Na obrázku můžeme vidět kolektorové pole, které je ukotveno pomocí nerezových kombinovaných šroubů vrut/závit do trámů střechy. Tato realizace byla provedena na etapy. V první fázi se provedlo kotvení vrutů do trámů. Poté provedl investor zateplení střechy nástřikem polyuretanové izolační pěny. Po vyzrání zateplení se provedla montáž nosné konstrukce kolektorového pole a celková montáž solárního systému.



Obrázek 7 Příprava na montáž nosné konstrukce kolektorového pole po zateplení střechy
(zdroj: archiv autora)



Obrázek 8 Kolektory TS 300 na střechě u RD v Úvalně
(zdroj: archiv autora)

Solární pokrytí potřeby tepla, $f = 76\%$.

Celkový využitelný zisk solárního systému, $Q_{ss,u} = 2001 \text{ kWh.rok}^{-1} = 7,2 \text{ GJ}$.

5.3.2 Výpočtová část

Před realizací solárního systému byla celková roční spotřeba paliva 750 kg.

Po realizaci solární soustavy klesá celková roční spotřeba tepla přibližně o 76 % na 5,50 GJ a roční spotřeba uhlí na 180 kg. Množství ušetřeného paliva za rok je 570 kg.

Jako palivo pro ohřev teplé vody je využíváno černé uhlí – ořech 1, PG SILESIA SP. Z O.O. - Polsko. Obsah popela $A_p = 13,0\%$, obsah vody $W_{tr} = 9,0 \%$, obsah síry $S_p = 0,8\%$. Výhřevnost paliva je $Q_{ir} = 26,0 \text{ MJ/kg}$.

Výpočet emisního faktoru a následný výpočet emisí se provede podle vzorce uvedeného v kapitole 2.5.

Tabulka 9 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Úvalno
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Emisní faktor (kg/t)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Emisní faktor daný legislativou	1,0 x A_p	19,0 x S_p	2	45
Vypočtený emisní faktor	13	15,2	2	45

Tabulka 10 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru - Úvalno

Emise (kg)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Celkové emise	9,7	11,4	1,5	33,7
Ušetřené emise	7,4	8,7	1,1	25,7
Emise po opatření	2,3	2,7	0,4	8

5.3.3 Závěr

Solární systém pokrývá potřebu tepla z 76%. Emise tuhých znečišťujících látek klesají o 7,4 kg/rok, oxid siřičitý o 8,7 kg/rok.

5.4 Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Havířově

5.4.1 Popisná část

Realizace solárního systému pro ohřev teplé vody byla provedena v obci Havířov, okres Karviná.

V rodinném domě bydlí trvale 4 osoby. Teplá voda je ohřívána v zásobníku o objemu 300 l a ten je dohříván kotlem na tuhá paliva vlastní výroby o výkonu 45 kW a účinnosti 80 %.

Potřeba tepla na ohřev teplé vody byla určena podle bilance programu Nová Zelená Úsporám, $Q = 3515 \text{ kWh.rok}^{-1} = 12,65 \text{ GJ}$.

Byly zde instalovány 2 ks slunečních kolektorů Thermosolar TS 500 a zásobník teplé vody o objemu 300 l s označením OKC 300 NTRR/SOL. Rozvod je ze střechy veden v komínovém tělese, které již neslouží původnímu účelu. Délka rozvodu byla v tomto případě téměř 30 m. Jelikož je na měděném rozvodu 19 mm silná tepelná izolace, jsou tepelné ztráty vlivem prodloužené délky rozvodu zanedbatelné. Na obrázcích můžeme vidět nejprve kolektorové pole na střeše domu a následně zásobník teplé vody a další komponenty solárního systému – čerpadlovou jednotku, expanzní nádobu a elektronický regulátor.

Celková cena solárního systému byla 82.000 Kč. Na realizaci solárního systému žádal investor dotaci ve SFŽP o celkové výši 32.800 Kč. Celková cena pak byla 49.200 Kč.



Obrázek 9 Kolektory TS 500 na střeše RD v Havířově
(zdroj: archiv autora)



Obrázek 10 Zásobník teplé vody, čerpadlová jednotka, expanzní nádoba a regulace
(zdroj: archiv autora)

Solární pokrytí potřeby tepla, $f = 64\%$.

Celkový využitelný zisk solárního systému, $Q_{ss,u} = 2237 \text{ kWh.rok}^{-1} = 8,1 \text{ GJ}$.

5.4.2 Výpočtová část

Před realizací solárního systému byla celková roční spotřeba paliva 800 kg.

Po realizaci solární soustavy klesá celková roční spotřeba tepla přibližně o 64 % na 4,55 GJ a roční spotřeba uhlí na 288 kg. Množství ušetřeného paliva za rok je 512 kg.

Jako palivo pro ohřev teplé vody je využíváno hnědé uhlí – ořech 1, Czech Coal Group – Litvínovská Uhelná a.s. Obsah popela $A_p = 13,5\%$, obsah vody $W_{tr} = 26,3\%$, obsah síry $S_p = 1,8\%$. Výhřevnost paliva je $Q_{ir} = 20,0$ MJ/kg.

Výpočet emisního faktoru a následný výpočet emisí se provede podle vzorce uvedeného v kapitole 2.5.

Tabulka 11 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Havířov
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Emisní faktor (kg/t)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Emisní faktor daný legislativou	$1,0 \times A_p$	$19,0 \times S_p$	2	45
Vypočtený emisní faktor	13,5	34,2	2	45

Tabulka 12 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru – Havířov

Emise (kg)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Celkové emise	10,8	27,4	1,6	36
Ušetřené emise	6,9	17,5	1,1	23,1
Emise po opatření	3,9	9,9	0,5	12,9

5.4.3 Závěr

Solární systém pokrývá potřebu tepla z 64%. Emise tuhých znečišťujících látek klesají o 6,9 kg/rok, oxid siřičitý o 17,5 kg/rok.

5.5 Solární soustava pro přípravu teplé vody na rodinném domě v Bruzovicích

5.5.1 Popisná část

Realizace solárního systému pro ohřev teplé vody byla provedena v obci Bruzovice, okres Frýdek-Místek.

V rodinném domě bydlí trvale 2 osoby. Teplá voda je ohřívána v zásobníku o objemu 200 l a ten je dohříván kotlem na tuhá paliva ATMOS DC 25 S o výkonu 27 kW a účinnosti 81%.

Potřeba tepla na ohřev teplé vody byla určena podle bilance programu Nová Zelená Úsporám, $Q = 1987 \text{ kWh.rok}^{-1} = 7,15 \text{ GJ}$.

Byly zde instalovány 2 ks slunečních kolektorů Thermosolar TS 330/M a zásobník teplé vody o objemu 200 l s označením OKC 200 NTRR/SOL. Kolektorové pole je namontováno na šikmé střeše o sklonu 16°. Střecha domu je orientována 22° na jihovýchod. Nosná konstrukce kolektorového pole zde byla upravena tak, aby výsledný sklon kolektorového pole k vodorovné rovině byl 45°. Rozvod je veden v interiéru domu postupně přes dvě obytná patra do suterénu domu, kde se nachází kotelna. Zde je umístěn zásobník teplé vody a kotel na tuhá paliva, který dohřívá solární zásobník.

Celková cena solárního systému byla 79.000 Kč. Na solární systém byla poskytnuta dotace ze SFŽP o celkové výši 31.600 Kč. Celková cena pro investora tak byla po odečtení dotace 47.400 Kč.



Obrázek 11 Kolektory TS 330/M na střeše u RD v Bruzovicích
(zdroj: archiv autora)

Solární pokrytí potřeby tepla, $f = 72\%$.

Celkový využitelný zisk solárního systému, $Q_{ss,u} = 1431 \text{ kWh.rok}^{-1} = 5,15 \text{ GJ}$.

5.5.2 Výpočtová část

Před realizací solárního systému byla celková roční spotřeba paliva 500 kg.

Po realizaci solární soustavy klesá celková roční spotřeba tepla přibližně o 72 % na 2,00 GJ a roční spotřeba uhlí na 140 kg. Množství ušetřeného paliva za rok je 360 kg.

Jako palivo pro ohřev teplé vody je využíváno hnědé uhlí – ořech 1, PG SILESIA SP. Z O.O. - Polsko. Obsah popela $A_p = 13,0 \%$, obsah vody $W_{tr} = 9,0 \%$, obsah síry $S_p = 0,8 \%$. Výhřevnost paliva je $Q_{ir} = 26,0 \text{ MJ/kg}$.

Výpočet emisního faktoru a následný výpočet emisí se provede podle vzorce uvedeného v kapitole 2.5.

Tabulka 13 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Bruzovice
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Emisní faktor (kg/t)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Emisní faktor daný legislativou	1,0 x Ap	19,0 x Sp	2	45
Vypočtený emisní faktor	13	15,2	2	45

Tabulka 14 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru - Bruzovice

Emise (kg)				
Druh emise	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Celkové emise	10,8	27,4	1,6	36
Ušetřené emise	6,9	17,5	1,1	23,1
Emise po opatření	3,9	9,9	0,5	12,9

5.5.3 Závěr

Solární systém pokrývá potřebu tepla z 72%. Emise tuhých znečišťujících látek klesají o 4,7 kg / rok, oxid siřičitý o 5,5 kg / rok. Emise oxidu uhelnatého klesají na 6,3 / rok.

6 Vyhodnocení

V předešlé kapitole bylo popsáno pět solárních systémů na ohřev teplé vody. U každé realizace bylo stanoveno množství získané sluneční energie a následně vypočteno množství emisí znečišťujících látek, které se díky instalaci kolektorů ušetří.

U každé z realizací bylo také finančně vyčísleno, jak velké byly pro investora náklady na pořízení solárního systému.

Následující tabulka ukazuje přehled popsaných realizací a množství znečišťujících látek, které se ušetří/neemitují do ovzduší, díky realizaci solárního systému pro ohřev teplé vody.

Tabulka 15 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Místo realizace	Emise TZL [kg]	Emise SO ₂ [kg]	Emise NO _x [kg]	Emise CO [kg]
Jerlochovice	3,0	4,5	1,0	21,3
Hošťálkovice	4,4	6,5	0,9	20,1
Úvalno	7,4	8,7	1,1	25,7
Havířov	6,9	17,5	1,1	23,1
Bruzovice	4,7	5,5	0,7	16,2
Celkové ušetřené emise	26,4	42,7	4,8	106,4

Z tabulky vidíme, že emise tuhých znečišťujících látek – TZL, klesají celkově o více než 25 kg a dále například celkové množství emitovaného oxidu uhelnatého – CO klesá o více než 100 kg.

Množství emisí, které se ušetří díky realizaci solárního systému, vychází z procenta pokrytí potřeby tepla na ohřev teplé vody. Vyšší procento pokrytí je z největší míry dané velikostí kolektorové plochy. Také platí, že velikost kolektorové plochy úměrně zvyšuje cenu kolektorů a tím i celého solárního systému.

Srovnání všech sledovaných realizací podle procenta pokrytí a celkové ceny solárního systému můžeme vidět v následující tabulce. Pro přehled jsou zde uvedeny také konečné ceny po odpočítání dotace na solární systém.

Tabulka 16 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení
(zdroj: Sdělení odboru ochrany ovzduší, MŽP, Praha 2012)

Místo realizace	Procento pokrytí [%]	Celková cena [Kč]	Cena po dotaci [Kč]
Jerlochovice	74	87000	52000
Hošťálkovice	51	74000	44400
Úvalno	76	88000	53000
Havířov	64	82000	49200
Bruzovice	72	79000	47400
Průměr hodnoty	Ø 67	82000	49120

Smysluplnou hranicí procenta pokrytí potřeby tepla je tedy minimálně 50 %. Celkové emise se v takovém případě snižují minimálně o polovinu a cena solárního je příznivá díky menší kolektorové ploše. Další možností je využití kolektorů se zvětšenou absorpční plochou jako v případě u realizace v Havířově. Zde bylo procento pokrytí 64 % a cena solárního systému byla průměrem všech realizací. Padesátiprocentní hranice je také jedním z kritérií pro získání dotace programu Nová Zelená Úsporám.

Z výše uvedeného vyplývá, že nejvýhodnějším řešením realizace solárního systému pro ohřev teplé vody, je docílení pokrytí potřeby tepla mezi 50 – 65 %. Toto řešení je výhodné jak z hlediska snižování emisí, tak také z hlediska konečné přijatelné ceny pro investora.

6.1 Další možný vývoj solární tepelné techniky

Jako každé technické zařízení také sluneční kolektory prošly během let vývojem. To, co si na začátku 80. let stavěli svépomocně nadšenci na svých příbytcích, se dnes stává moderním hi-tech výrobkem a praktickou součástí všech nově stavěných rodinných domů. Množství instalací solárních systémů přibývá a solární technika jde neustále kupředu.

Rozvoji také pomáhá orientace společnosti na produkci energie z obnovitelných zdrojů. Dle některých studií Evropské komise budou dokonce solární tepelné soustavy

hlavním motorem přechodu z fosilní tepelné energetiky (ESTIF, 2006) na zásobování čistou a bezemisní energií.

Téměř 50 % konečné spotřeby energie se podle EU využívá pro účely vytápění a ohřevu. Velká většina této energie je pak využívána v aplikacích, kde se využívá teplot pod 250 °C. Ve všech těchto případech lze využít potenciálu solární termiky (Scheer, 2002).

Je to však nejen zásobování rodinných domů a bytů teplem, kde najde solární tepelná technika své uplatnění. Již dnes jsou známy instalace v průmyslu, chlazení, zemědělství. Mluví se také o solárním odsolování mořské vody.

Dalšími pozitivy jsou také nově budovaná pracovní místa ve vývoji, výrobě a také realizaci solárních systémů. Díky decentralizaci mohou být pracovní místa rozptýleny po celé EU.

Nakonec je také nutné vyzvednout snížení závislosti na importech fosilních paliv.

Solární soustavy se řadí k čistým zdrojům tepelné energie a nezbývá si přát, aby se plány a cíle vytýčené Evropskou komisí splnily.

7 Závěr

Zvolením tématu a vypracováním této diplomové práce jsem si kladl za cíl poukázat na možnosti solárních systémů jako na jeden z nástrojů při snižování znečištění ovzduší z malých domácích zdrojů tepla – lokálních topenišť.

Během své praxe jsem se setkal s velmi pozitivním přístupem osob/investorů k realizacím solárních systémů. Lze říci, že sluneční kolektory a solární tepelná technika obecně je velmi oblíbená a zájem ve společnosti o ni roste. Většina zájemců se dobře orientuje v dané problematice anebo si informace po správném nasměrování aktivně vyhledává. Zájem o solární systémy ve společnosti také podporují nejrůznější dotační programy jako je například současný program Nová Zelená Úsporám a další.

Je ale také nutné poznamenat, že zákazníci či zájemci si solární systém nespojují přímo se snižováním znečištění ovzduší. Všichni investoři mají zájem pouze o vyčíslení návratnosti solárního systému po ekonomické stránce a poté se rozhodují pro případnou realizaci. Po ekonomické návratnosti je dalším rozhodujícím faktorem existence záruky jisté energetické soběstačnosti. O solárních kolektorech jako o nástroji snižování znečištění ovzduší uvažují investoři jen zřídka.

Právě tato další přidaná hodnota solárních tepelných soustav by měla být rovna ekonomickému přínosu a záruce energetické soběstačnosti.

V experimentální části této diplomové práce byly popsány konkrétní realizace a byly zde vyčísleny úspory paliva a potažmo emisí.

Za problematickou část diplomové práce, o níž by se dalo polemizovat a případně dále zkoumat, lze označit použití teoreticky vyčísleného množství ušetřených emisí. Výpočet podle emisního faktoru lze pokládat za pouze přibližný. V současné době je to však jediný legislativní nástroj, jak alespoň přibližně můžeme určit emise z malých zdrojů. I kdybychom při stanovení emisí počítali teoreticky s odchylkou 50%, stále lze označit ušetřené emise za výrazné, což poměrně dobře dokazuje, že vstupní předpoklad o potenciálu solárních systémů na snížení znečištění ovzduší z malých domácích zdrojů tepla – lokálních topenišť byl správný a byl podpořen dostatečným množstvím příkladů v praktické části diplomové práce.

Soupis literatury

ADAMEC, Vladimír et al., *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha : Grada, 2008. 160 s. ISBN 80-247-2156-2.

BEZOUŠKA, Marek. Nejčastější chyby v oblasti návrhů a montáží soustav se solárními termickými kolektory. *Topenářství, instalace*. 2012, č. 6, s. 46-48. ISSN 1211 – 0906.

BRANIŠ, Martin; HŮNOVÁ, Iva, [eds.]. *Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší*. Praha: Univerzita Karlova, 2009.

BROŽ, K., ŠOUREK, B. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003.

BUREŠ, V. Měření emisí tuhých frakcí znečišťujících látek PM_{2,5} a PM₁₀. In *Ochrana ovzduší*. 2004, č.4, s.22.

CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha : T.Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi v oblasti ostravsko-karvinska. Sborník přednášek*. Praha, 2008. ISBN 978-80-86690-53-7.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012*. Praha, 2013.

DUFFIE, A., J., BECKMAN, A., W., *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley, 2013. 936 s. ISBN 978-0-470-87366-3.

FILLEUX, Charles a GÜTERMANN, Andreas. *Solární teplovzdušné vytápění: koncepce, technika, projektování*. 1.české vyd. Ostrava: HEL, 2006.

GUZOWSKI, Mary. *Towards Zero Energy Architecture : New Solar Design*. London: Laurence King Publishing, 2010.

HESTNES, Anne Grete, ed., HASTINGS, Robert, ed. a SAXHOF, Bjarne, ed. *Solar energyhouses: strategies, technologies, examples*. 2nd ed. London: Earthscan, 2010. vi, 202 s. ISBN 978-1-84971-057-2.

HORÁK, Jiří., BRANC, Michal, HNILICOVÁ, Helena. Emise jemných částic prachu při spalování hnědého uhlí v malých spalovacích zařízeních. *Zpravodaj Hnědé uhlí*. 2010, č.4. ISSN 1213-1660.

JANČÍK, Petr, PAVLÍKOVÁ, Irena a BITTA, Jan. *Analýza kvality ovzduší na území města Ostravy = Analysis of the air quality at the Ostrava city*. Ochrana ovzduší, 2009, 21(4), 24-27.

LADENER, H., SPÄTE, F., *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha : GRADA, 2003. 268 s. ISBN 80-24703-62-9.

MACHÁLEK, P., MACHART, J., *Emisní bilance malých zdrojů znečišťování ovzduší 1991 – 1995*. Milevsko: 1997. Dostupné také z: http://www.portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/bilance_malych_ZZO_1991_1995.pdf

MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 136 s. Profi&hobby; 144. ISBN 978-80-247-3503-0.

MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada. 2013. 256 s. ISBN 978-80-247-3525-2.

MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.

OCHODEK, T., HORÁK, J. *Měrné emise ze zdrojů malých výkonů*. [online]. Košice: Technická univerzita Košice, 1998 [cit. 2012-03-01]. Dostupný z: <http://actamont.tuke.sk/pdf/1998/n3/13ochodek.pdf>

REMMERS, Karl-Heinz et al. *Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. 315 s. Technická knihovna. ISBN 978-80-7366-110-6.

ROUBÍČEK, V., BUCHTELE, J.: *Uhlí Zdroje-Procesy-Užití*. Ostrava: Montanex, 2002.

SCHEER, Hermann. *The Solar economy: renewable energy for sustainable global future*. London: Earthscan, 2002. xx, 347 p. ISBN 1-85383-835-7

Legislativa a normy

Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší) v platném znění, In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2002.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší v platném znění, In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012.

Zákon č. 309/1991 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami, In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1991.

Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012, částka 151, s. 5226 – 5332.

RAL-UZ-73. *Solar collectors – Basic Criteria for Award of the Environmental Label*. Sankt Augustin: RAL gGmbH, 2009

Internetové odkazy

Aspen Aerogels[online]. [cit.2014-03-01]. Dostupné z: <http://www.aerogel.com>

Cenia[online]. [cit.2014-02-11]. Dostupné z <http://www.cenia.cz>

Český hydrometeorologický ústav[online]. [cit.2014-02-11]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>

Český statistický ústav[online]. [cit.2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.czso.cz>

Moravskoslezský kraj. *Problematika lokálních topenišť v Moravskoslezském kraji*. Ostrava: Moravskoslezský kraj, 2012. ISBN 978-80-87503-27-0. Dostupné také z: http://http://iszp.kr-moravskoslezsky.cz/assets/temata/publikace/brozuramsk_lokalni-topeni.pdf

TZB-info[online]. [cit.2014-02-16]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz>

Zemní plyn[online]. [cit.2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz>

Seznam grafů

Graf 1 Vývoj množství emisí z malých zdrojů mezi léty 2003 – 2009

Graf 2 Emise vybraných znečišťujících látek v okresech Moravskoslezského kraje v roce 2011

Graf 3 Průběh slunečního ozáření za jasné oblohy

Graf 4 Vliv sklonu a orientace plochy na teoretickou denní dávku slunečního ozáření v průběhu roku

Seznam obrázků

Obrázek 1 Směr dopadajícího slunečního záření na osluněnou plochu

Obrázek 2 Rozdíl mezi vztažnou plochou trubicového a plochého kolektoru

Obrázek 3 Ideové schéma zapojení solárního systému s dodatkovým dohřevem

Obrázek 4 Kolektory TS 300 na střeše u RD v Jerlochovicích

Obrázek 5 Montáž rozvodu do připraveného výkopu

Obrázek 6 Nosná konstrukce kolektorového pole pro kolektory TS 300 na střeše RD v Hošťálkovicích

Obrázek 7 Příprava na montáž nosné konstrukce kolektorového pole po zateplení střechy

Obrázek 8 Kolektory TS 300 na střeše u RD v Úvalně

Obrázek 9 Kolektory TS 500 na střeše RD v Havířově

Obrázek 10 Zásobník teplé vody, čerpadlová jednotka, expanzní nádoba a regulace

Obrázek 11 Kolektory TS 330/M na střeše u RD v Bruzovicích

Seznam tabulek

Tabulka 1 Emise vybraných znečišťujících látek v okresech Moravskoslezského kraje v roce 2011

Tabulka 2 Hodnoty emisních faktorů pro stanovení množství emisí výpočtem při spalování paliv

Tabulka 3 Hodnoty celkového záření a poměr difuzního záření k celkovému záření

Tabulka 4 Sledované parametry solárních soustav v programu Nová Zelená Úsporám

Tabulka 5 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Jerlochovice

Tabulka 6 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru – Jerlochovice

Tabulka 7 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Hošťálkovice

Tabulka 8 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru – Hošťálkovice

Tabulka 9 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Úvalno

Tabulka 10 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru - Úvalno

Tabulka 11 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Havířov

Tabulka 12 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru – Havířov

Tabulka 13 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení - Bruzovice

Tabulka 14 Vypočtené emise dle daného emisního faktoru - Bruzovice

Tabulka 15 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení

Tabulka 16 Hodnoty emisních faktorů a jejich stanovení